

污泥处理处置的认识误区与控制对策

杭世珺、陈吉宁、郑兴灿、王凯军、王洪臣

背景

随着我国城市化进程的加快，城市污水处理率逐年提高，城市污水处理厂的污泥产量也急剧增加。未经恰当处理处置的污泥进入环境后，直接给水体和大气带来二次污染，不但降低了污水处理系统的有效处理能力，而且对生态环境和人类活动构成了严重威胁。

但是，受城市污水处理建设发展水平和认识程度的限制，我国对污泥的处理处置始终没有引起足够的重视。面对污泥处理处置实际工程需要的冲击和国际诸多技术产品片面促销的局面，管理体系及技术支撑等领域已经呈现出混乱的趋势。而且，管理体系的欠缺、系统研究的缺乏和技术体系的紊乱等，已经给工程建设和运行管理造成了诸多难以解决的问题。本文将对污泥处理处置存在的普遍性误区以及技术路线的错误认识等阐述我们的观点。

一、我国污泥处理处置的背景与问题

据估算，目前我国城市污水处理厂每年排放的污泥量（干重）大约为 130 万吨，而且年增长率大于 10%，特别是在我国城市化水平较高的几个城市与地区，污泥出路问题已经十分突出。如果城市污水全部得到处理，则将产生污泥量（干重）为 840 万吨，占我国总固体废弃物的 3.2%。

目前，我国污泥处理处置主要方法中，污泥农用作占 44.8%、陆地填埋约占 31%、其它处置约 10.5%、没有处置约 13.7%，这些所谓的“处理”和“处置”基本上都是在特定的条件下估算的，严格来说以上数字将会有很大变化。据统计，我国用于污泥处理处置的投资约占污水处理厂总投资的 20~50%，可以看出，污泥处理处置处于严重滞后状态。

污泥处理处置问题已经在大城市中显现出来。早期的污水处理厂，由于没有严格的污泥排放监管，普遍将污水和污泥处理单元剥离开来，为了追求简单的污水处理率，尽可能地简化、甚至忽略了污泥处理处置单元；有的还为了节省运行费用将已建成的污泥处理设施长期闲置，甚至将未做任何处理的湿污泥随意外运、简单填埋或堆放，致使许多大城市出现了污泥围城的现象并开始向中小城市蔓延，给生态环境带来了极不安全的隐患。目前我国虽然对污泥问题开始关注，但仍然停留在技术层次，2003 年开始，我国主要大城市，开始尝试进行污泥处理处置规划，对其技术方案进行了充分论证，如：广州市近期采取生污泥填埋，远期将用于农肥；深圳市已完成专项规划，拟采取热干化加焚烧工艺；上海市则根据不同情况，采取处理分散化、处置集约化、技术多元化的方针；天津市规划建设 3 座污泥处理场，采用污泥消化发电工艺，但尚无污泥最终处置的方法；北京市污泥处理处置专项规划还未经审批，土地利用将是主要发展趋势。

由设计院为主导组织编制的污泥处理处置规划，主要内容为技术规划和技术方案，其系统性不够强，基本未涉及管理体制、责任划分、相关政策、公众参与等内容。但事实上却恰恰相反，

污泥问题的解决极需管理体制、市场机制、标准体系、技术政策等方面的系统性支撑。

二、污泥处理处置的国际经验

污水和污泥是解决城市水污染问题同等重要又紧密关联的两个系统。污泥处理处置是污水处理得以最终实施的保障，在经济发达国家，污泥处理处置是极其重要的环节，其投资约占污水处理厂总投资的 50~70%。

污泥处理处置方法主要有填埋、焚烧和多种形式的土地利用。由于各国具体情况不同，选择的方法各有侧重。在美国土地利用逐渐占据主角，80 年代末以填埋为主约占 42%，1998 年土地利用急剧上升至 59%，预计 2005 年土地利用的比例将上升至 66%；日本由于国土面积较小，以焚烧为主约占 63%，土地利用 22%，填埋 5%，其它约 10%；欧盟各成员国的侧重不尽相同，目前卢森堡、丹麦和法国主要以污泥农用为主，爱尔兰、芬兰和葡萄牙等国污泥农用的比例还会逐步增加，而法国、卢森堡、德国和荷兰则计划加大焚烧的比例。即使一个国家的不同地区也有所侧重，如在英国北部大型工业城市，由于污泥中重金属含量较高且含有一些有毒成分，因此焚烧比例较大约占 50%，而英国的其它城市则以污泥土地利用为主。

以上分析得到两点启发：一是各国都把污泥处理处置作为污水处理系统的非常重要的环节，给予巨大投入，使污染治理能划上一个完整的句号，这是成熟的污水处理思路；二是不同国家和地区因地制宜地采取了适合各自国情的污泥处理处置技术路线，主要考虑因素为产业结构、土地资源、城市化程度等。

三、污泥处理处置术语

讨论污泥问题，应先澄清污泥处理处置的术语。我国目前对污泥处理和污泥处置还没有准确的解释，造成概念不清。目前，有两个主导性观点：一是以污泥稳定化为界限，稳定化前为污泥处理，稳定化后为污泥处置；另一观点则认为以污水处理厂厂界为准，厂内为污泥处理，厂外为污泥处置。

处理、处置概念的混乱，导致污泥处理、污泥处置目标不明，进而影响到管理定位、技术路线选取和技术标准的制定。为了便于研讨，我们提出明确的定义，作为本文讨论的基础和业内同行的参考。

污泥处理 (sludge handling or sludge treatment): 污泥经单元工艺组合处理，达到“减量化、稳定化、无害化”目的的全过程。

污泥处置 (sludge disposal): 处理后的污泥，弃置于自然环境中（地面、地下、水中）或再利用，能够达到长期稳定并对生态环境无不良影响并最终消纳方式。

四、污泥处理处置的责任主体

污泥处理处置问题首先源于管理体制上的混乱，而管理体制的混乱首先是责任主体的缺位。污泥处理处置责任主体不明确，是制约污泥处理处置管理体制得以理顺的关键因素。责任主体不

明确有三个主要原因：一是传统的污水处理厂并非一个民事法人主体，而是事业单位，是为政府义务服务的附属实施机构，无法独立承担有关责任；二是污泥处理没有专门的经济支撑体系，一般城市污水收费尚不足以维系运行，污泥处理运行费更无着落，使得责任被旁置；三是过份强调“资源化”技术路线，误导了企业和政府把污泥处理处置作为有价值的资源，而非一种责任。

随着污水领域政企分离逐步到位、污水收费逐渐实施及技术路线逐步明确，应在政策上明确污泥处理处置的直接承担主体是污水处理企业，污水处理企业负有对本企业所产生污泥合理处理并最终达标处置的责任。污水处理企业可以选取不同处理和处置方式，也可以采用委托等方式和其他单位建立合同关系、并有义务告知委托单位污泥处理处置所需达到的要求，同时还应保留全部污泥及其出路的完整记录。如果污泥处理处置不当，污水处理企业将承担首要责任。当然其前提是污水收费必须包含污泥处理所需的费用。

目前大部分城市污水处理厂属事业单位性质，城市政府仍是污泥处理处置的责任主体。如果忽略了污泥问题，我们认为注重短期利益的体现。

五、污泥监管严重缺位

政府高效监管是有效解决污泥处理处置问题的关键。但是对污泥的长期忽视以及污泥排放的间歇性造成了监控的难度，与污水处理的监管相比，政府对污泥处理处置的监管更为困难。

政府有关部门须高度重视污泥处理处置的重要性和对环境影响的安全性，加强污泥处理处置的管理、监控，加强社会宣传，提高公众认知。将污泥科学纳入政府监管的序列；同时还应公开污泥的处理处置方式，将舆论监督作为政府监管的辅助手段。

污泥处理处置的管理缺位还表现在缺少系统规划。国内各城市的总体规划中尚未涉及到污泥处理处置内容，更无专项规划。目前仅深圳、上海、北京等大城市初步尝试了污泥处理处置专项规划的编制，但仅限于技术性规划，应在系统性方面进一步提高完善，而其他绝大部分城市尚未开展污泥处理处置的规划工作。专项规划是污泥处理处置的指导性方针，它的缺乏必然使污泥的处理处置处于无序状态，给监控、管理带来混乱。各地区应根据自身的具体情况尽快编制专项规划，并注意近远期相结合，同时尽可能与污水处理规划同时编制以便于协调和统一。

六、相关标准缺乏系统性、科学性

系统的、科学的污泥处理处置标准是监控污泥处理处置、选取合理技术路线和采取有效技术政策的重要前提。目前我国与污泥处理处置相关的标准仅有《农用污泥中污染物控制标准》（GB4284-84）、《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）和《城市污水处理厂污水污泥排放标准》（CJ3025-93）三项。《农用污泥中污染物控制标准》（GB4284-84），为 1984 年制订颁布，距今已有 20 年，从未进行过修订。其中重金属指标需要重新研究，有机污染物指标明显不足，病原菌指标更是空白，已经不能满足使用要求，更起不到控制污染的作用。《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）和《城市污水处理厂污水污泥排放标准》（CJ3025-93），是控

制城市污水处理厂污泥排放的标准。其中多是原则性的文字，仅对脱水后污泥含水率有明确的要求（小于 80%），而对有机污染物、病原菌并没有准确、完整的指标，对重金属更是没有任何的限制。因此，城市污水处理厂污泥排放无据可依，将对环境造成二次污染。

此外，我国标准的制订、评价、修改缺乏规范化和完整性的体系，致使标准修订不及时，各标准间缺乏协调和统一性。

国外现行的标准值得我们借鉴。美国 1993 年 2 月颁布的《有机固体废弃物（污泥部分）处置规定》（EPA503 标准），以及欧盟于 2000 年修订的 86/278/EEC 标准，都对城市污水处理厂污泥的管理和处置提出了综合性要求，对重金属、病原菌和有机污染物等指标均有严格的限制。

在污泥相关标准的修改与制定上，须重视污泥处理处置的安全问题，特别要注意对生态环境长期影响的监控。污泥填埋和焚烧，可以参考已有的垃圾填埋和焚烧的标准；污泥的再利用，应该分别符合相应行业的现行标准、规定，并结合城市污水处理厂污泥的特性补充现行标准、规定中缺少的指标；污泥土地利用中涉及农用的污染物控制标准（GB4284-84）必须重新修订，并增加污泥施用管理规定，包括施用地点、施用周期、最大施用量等内容，同时制订污泥质量和土壤质量监测的有关规定。

七、污泥技术路线的若干误区

关于污泥处理处置的技术路线，目前存在夸大其资源化和追求技术路线统一两大认识误区。

1、对资源化的认识

目前污泥处理处置技术的发展程度，尚不能高效地实现能量回收和物质回用，以实现经济效益和节约能源的效果。污泥的资源化必须总体考虑，不能分割整个处理处置过程而强调某一局部单元工艺的效果，从而得出污泥资源化的概念。个别企业出于推销单元工艺的目的，仅仅强调其个别单元工艺可以实现能量回收和物质回用，割裂其他处理处置过程需要投入的能量和费用，误导技术的选取，加重了污泥处理处置技术的混乱。部分决策者误认为污泥就是资源，污泥的处理处置可以盈利，对污泥处理处置认识误区，影响到整个体系的有效运行。

我们认为，污泥处理处置是需要政府投入和建立收费体系来支撑的公益事业，应该以“减量化、稳定化、无害化”为目的。“资源化”并不是目的，而是一个重要的原则，要尽可能利用污泥处理处置过程中的能量和物质，以实现其资源价值。例如，污泥堆肥和污泥焚烧都是污泥处理的手段，而不能以生产产品、获得能量以谋取经济利益为最终目的。总体来说，污泥堆肥、污泥焚烧等投入的能量和资金必然大于能量回收和物质再利用的收益。

2、因地制宜是重要的原则

不同国家的技术路线是不尽相同的，同一国家不同地区也存在差异，因地制宜应该是技术路线选择的基本思路和原则。我国地域辽阔，不同地区的自然环境、人文环境、产业结构和经济发展水平都不同，各地区应从自身特点出发，采取适宜的技术路线。同时，国外技术必须和我国具

体国情相结合，切不可生搬硬套。例如：污泥干化焚烧工艺的减量效果明显，且占地少，但其建设和运行费用相对较高，仅适用于大城市、大型城镇群以及用地紧张地区，而不能不加分析的无限制的推广应用；同时，我国是能源缺乏的国家，因此，与污泥好氧稳定等需要消耗大量能源的工艺技术相比，污泥厌氧消化和多种形式的土地利用更加适合我国国情。

八、技术政策基本空白

技术政策是技术路线的有效实施的重要保障。我国污泥处理处置的技术政策现在仍属空白，需要从以下几方面着手解决：

建立污泥处理处置的评估体系。立即开展我国污泥产量、污泥质量、污泥处理处置及再利用现状的调研与评价工作；加快城市污水处理厂污泥处理、处置技术政策的编制工作；抓紧建立污泥处理处置技术的评价体系和方法。

鉴于目前用于污泥处理处置的资金不足，须制定有关建设和运行的保障性鼓励措施，污泥处理处置应与污水处理同等重视。根据当地实际状况，制定合理的污水收费政策和体系（应包括污泥处理处置运行费用）。

需要财税政策的倾斜。国家应对污泥处理处置过程中的资源化工程给以政策性引导。通过财政补贴、税收优惠等经济杠杆来引导企业积极采用能量回收和物质回用的工艺技术。

建立接纳和鼓励外资、民营资本积极参与污泥处理处置投资和运营的相关政策体系，因势利导的发展和探索适合我国国情的污泥处理处置工艺，促进污泥处置的市场化发展。

污泥问题必将成为中国下一阶段重要的环境问题，本文期望通过以上的讨论引发各界对污泥处理处置问题的重视，并使污泥处理处置的若干认识误区得以澄清，进而帮助和促进有关技术路线和技术政策的制定，使城市污水处理行业得以健康发展。

备注：本文是清华水业技术绿皮书系列的第一本，是根据 2004 年 4 月 29 日召开的第一次水业高级技术沙龙(自发性民间组织，约每季度组织一次专题活动)讨论内容整理而成，文中阐述了沙龙发起专家（杭世珺、陈吉宁、郑兴灿、王凯军、王洪臣）的共同观点。该绿皮书由沙龙主办单位中国水网和清华大学水业政策研究中心组织撰写，主要执笔人为杭世珺、刘旭东、梁鹏。

城市污泥自动控制堆肥及其复合肥生产成套技术

陈同斌、高定、黄启飞、郑玉琪、李艳霞、罗维、黄泽春、郑国砥、
张义安、高伟、雷梅、郑袁明、赵莉、金燕、徐伟朴、
罗金发、鲁全国、栾禄凯、张学青、陈宝华
(中国科学院地理科学与资源研究所环境修复室)

城市污泥是我国当前亟待解决的环境问题。随着城市污水处理事业迅速发展，城市污水处理厂排放的城市污泥数量还会迅速增多。按照原国家计委的有关规划，到 2010 年，我国的城市污水处理率将达到 40~50%，届时污水处理厂将达到近 2000 座。而城市污泥的处理和处置一直是限制我国污水处理行业健康发展的薄弱环节。由于缺乏经济有效的城市污泥处置和资源化利用技术，致使城市污泥处置问题成为我国污水处理厂的沉重负担，甚至于影响污水处理厂的正常运转。

城市污泥虽然含有大量有机质、植物养分，可以提供植物生长发育的有益养分。但是，同时它也含有病原菌、寄生虫(卵)，并且容易腐烂发臭；如果处理不当，则可能造成二次污染。目前国外污泥处置方法有四类：填埋、焚烧、投海和土地利用。前三种处理方法中，投海已被国际公约所禁止，其余两种方法由于环境压力和经济压力等原因也在减少，而污泥的资源化利用则越来越受到重视。但是，污泥作为肥料销售往往因运输成本太高和操作不便而很难形成市场。对于重金属不超标的城市污泥，如果在稳定化和无害化处理的基础上，将其加工成有机肥或复合肥才具有稳定的产品市场。

通过 10 多年的科技攻关，尤其是在“九五”国家重点科技项目“城市污泥堆肥化及其复合肥生产成套技术”、科技部农业科技成果转化基金项目“畜禽粪便自动控制堆肥处理成套技术示范与推广”、北京市重点农业科技示范推广项目“畜禽粪便无害化处理及综合利用新技术”、国家计委专项课题“中国农用化肥消费比例预测与区域优化配置”、国家“十五”环境 863 课题“有机废弃物堆肥处理及其在环境修复中的应用”、科技部“科技奥运 2008 行动计划”项目“有机废弃物自动控制快速堆肥与草皮专用肥生产成套技术”等项目的重点支持下，中国科学院地理科学与资源研究所环境修复室开发出利用“高效、低耗、自动控制堆肥及其复合肥生产成套技术”，并建立示范厂。

城市污泥直接农用的潜在环境风险

病原菌

一般城市污泥中都含有大量病原菌，如沙门氏菌属、弧菌属、埃希氏菌属、核菌属、钩端螺旋体、脊髓灰质炎病毒、人肠道病毒、腺病毒、呼吸道肠道病毒、甲肝病毒等细菌和病毒，如果不进行灭菌处理，则可能增加导致伤寒、副伤寒、肠炎、霍乱、钩端螺旋体病、脊髓灰质炎，头痛，肌肉疼痛，呕吐，脑膜炎、腹泻，肝炎、感冒、呼吸道感染、呼吸道感染、结膜炎等疾病

的风险。根据我们的研究结果，以方庄城市污水处理厂的城市污泥为例，其脱水污泥中的病原菌含量很高，如其大肠菌群为 4000000 个/克城市污泥，蛔虫卵为 600 个/千克，活卵率为 100%。因此，将未经灭菌等无害化预处理的城市污泥直接用于农田或生产肥料是不安全的。我国的《农用污泥中污染物控制标准》(GB4284-84)也明确规定，生污泥必须经过高温堆肥或消化处理才能施用于农田。

虽然目前有的工艺也采用外加热或其他物理方法对城市污泥进行灭菌和烘干处理，这些方法也可以杀灭病原菌、杂草种子和起到脱水效果，但是由于对城市污泥中不稳定的有机质没有进行很好的稳定化处理，因此施用到农田后会抑制种子发芽、引起作物烧苗和恶臭等农业和环境问题，同时这类处理工艺的能耗和经济成本太高，因此在实际生产中不宜提倡和推广应用。

重金属

人们一直都担心污泥中会含有大量重金属，因此把重金属问题看作是限制污泥农用的一个主要障碍。但实际上，从我国的情况来看这一问题并不象人们所想象的那么严重。其理由主要有几个方面：

根据我们对国内不同学者关于城市污泥重金属报道结果的总结(详细资料略)，我国的城市污泥重金属含量普遍低于欧美等国家。即使象高碑店污水处理厂这样在北京属于重金属含量最高的污水处理厂，所产生的城市污泥重金属也大大低于欧美。

随着环境污染管理制度和法规的完善与实施，工业污水达标排放率不断提高，对工业污水的治理力度和治理技术水平也显著提高，同时其他各种管理和技术水平也不断进步，使得近年来城市污水处理厂排放的污泥中重金属水平显著下降。从表 2 中关于不同年代的中国、美国、加拿大城市污泥重金属含量的比较可以看出，无论是在我国还是在美国、加拿大，随着年代的推移城市污泥中重金属含量不断减少的趋势都非常明显。

我国《农用污泥中污染物控制标准》中关于重金属的控制标准本身就存在不科学、不合理的方面。在表 2 列出的几个国家和地区污泥农用重金属的控制标准，我国标准所允许的重金属浓度差不多都最低，因此与欧美国家的标准相比，我国的标准过于严格，甚至天津市不得考虑制定自己的地方标准(郭媚兰等，1993)。实际上，在 80 年代初制定这一国家标准时，我国在城市污泥农用方面的研究工作积累很少，因此所制定的标准固然会受到种种局限。在经过近 20 年的实践检验和研究积累后，我国该重新修订《农用污泥中污染物控制标准》。

虽然很多人都担心施用城市污泥会导致环境污染问题，但是美国的一些长期定位试验结果却表明，施用经过无害化处理的城市污泥对土壤和农产品不会产生不良影响，因此试验证明这种担心是不必要的。甚至为了打消市民对城市污泥的偏见，美国曾在白宫的草皮上带头使用过无害化处理的城市污泥。

鉴于社会公众和某些科学家对城市污泥在心理上难以接受，而且过去人们对“城市污泥

(sewage sludge)”始终抱有偏见等原因，因此一些从事水处理的学术团体[如世界水环境联合会(WEF)、美国 Northwest Biosolids Management Association 等]和科学家都将其称为“生物固体(biosolid)”，并且在学术刊物中广泛使用生物固体一词。

解决城市污泥农用风险的技术方案

根据我们的研究，在肥料生产中所用的城市污泥原料必须经过高温堆肥处理，要求达到除臭、稳定化、杀灭病原菌和杂草种子等无害化处理；同时要求其有机质含量至少应达到 30%，否则很难达到使复合肥中的氮肥缓慢释放、养分供应均衡和提高养分利用效率的效果。

城市污泥中含有大量有机质以及一定量的、植物生长所必需的大量和微量营养元素，因此城市污泥是一种肥效较好的廉价肥源。但是城市污泥直接作为肥料施用，由于其肥效有限而不能很好地满足作物生长的要求，加之运输成本较高而很难被市场普遍接受；同时由于城市污泥中含有病原菌等污染物，如果不经灭菌等处理而直接施用，则会增加对农田、水体、食物和人类的污染风险。

我国是一个农业大国，用合格的城市污泥生产肥料是一条有效的资源化利用途径。城市污泥中含有有益于植物生长的养分和大量的有机质，对改良和培肥土壤具有良好的效果。目前我国化肥生产能力严重不足，每年要花费 250 多亿元进口大量化肥。即便如此，化肥的缺口仍高达 10% 左右。而且复合肥是国内外化肥工业和农业生产的发展方向。如果用经过处理的污泥生产复合肥，则可以明显降低复合肥的生产成本，提高化肥生产能力。因此，既可以使其转化为一种良好的资源，又可以解决其处置出路及二次污染问题，不仅有利于农业生产、化肥工业和环境保护，更重要的是对城市污水处理行业的快速、健康发展具有重大意义。

城市污泥生产有机肥和有机-无机复合肥的工艺路线

利用城市污泥生产有机肥和有机无机复合肥的主要工艺流程如下(图 1)：(1)根据具体的堆肥环境条件，将一定比例的调理剂与城市污泥混匀；(2) 根据我们建立的四阶段堆肥发酵理论，通过 CTB 快速堆肥系统(Compsoft V1.0)进行自动检测和控制，分别培养堆体的耐高温微生物，并使堆体在最短的时间内达到无害化所需的温度(50℃)，并维持国家标准规定所需时间(5—7 天)；(3) 将堆肥产品进行筛分，使调理剂与堆肥产品分离，筛分出来的调理剂经过处理后可以回用；(4)筛分后的污泥堆肥可以制作有机肥或制备复合肥；(5)根据“中国肥料-产量效应数据库(Fertbase)”中的数据，按照用肥地点的土壤和作物情况，设计出最佳的专用复合肥配方；(6)按照设计的专用肥配方，将不同比例的原料进行配料，混合、造粒、过筛、包装，即可生产出合格的有机-无机复合肥产品。

试验表明，采用该技术可以使堆体的温度都达到了国家卫生标准(GB7959-87)所规定的堆肥杀菌温度(50℃)以上，并控制在 60℃ 以下。根据实际测定结果，采用本工艺进行堆肥，产品无害化的合格率达到 95%以上。用该技术生产的有机肥和有机-无机复合肥产品符合国家标准的要求。

经过国家化肥质量监督检验中心、农业部微生物肥料质量监督检验测试中心和中国农业科学院土肥测试中心的鉴定,采用上述技术生产的复合肥产品,其氮、磷、钾养分含量等各项技术指标均达到《复混肥料》国家标准(GB15063-94),重金属含量低于《农用污泥中污染物控制标准》(GB4284-84),蛔虫卵、大肠菌值等病原菌指标全部符合国家卫生标准(GB7959-87)的要求。

肥料产品的肥效

几年来,肥料产品先后在农、林、牧、园林等领域 30 种作(植)物上上进行肥效试验和环境安全性评价,解决了产品在粮食、蔬菜、草皮和草坪、花卉中应用的配套技术,同时也证明该复合肥的增产效果优于普通复合肥,生产成本降低 15~20%(表 4),其性能价格比优于目前市场上销售的普通复合肥。

采用本工艺生产的有机-无机复合肥中,所添加的化肥可以迅速释放,而城市污泥堆肥中所含的大量有机质(最高可达 45%),具有改良土壤、培肥地力、抗旱和供肥平稳等特点,肥效比普通复合肥持续时间更长,而且对化肥中的氮素具有一定的固定作用,使化肥带入的氮素缓慢释放,提高其养分利用效率。

表 1 用城市污泥生堆肥产有机-无机复合肥的应用效果

作物类型	供试作(植)物名称	应用效果
粮食作物	小麦、玉米	增产15~25%
大棚、大田蔬菜	油菜、芹菜、茄子、菜花、茼蒿、莴苣等	增产10~24%
草坪草和草皮	黑麦草、早熟禾、紫羊茅、剪股颖等	绿色期延长,抗性增强
家庭和苗圃花卉	龟背竹、君子兰、细椰子、富贵竹等	花期延长,提高花质
园林绿化树木	国槐、白蜡、油松、泡桐、杨树等	高度增加,地茎增大

此外,采用这种快速堆肥技术生产的城市污泥堆肥,可以作为基质及土壤改良剂,能够广泛用于荒地、育苗基质、苗圃、观赏植物、草皮、草地、公园、高速公路绿化带和高尔夫球场,以及尾矿堆、采石场、露天煤坑的复垦等。

肥料产品对作物卫生品质的影响评价

从表 2 可以看出,与不施肥的对照处理以及施用普通化肥和商品复合肥的处理相比,用城市污泥堆肥生产的有机-无机复合肥对蔬菜的 Cu、Zn、Pb 吸收没有明显的差异。因此,即便是在象蔬菜这样对卫生品质要求较高的作物上,施用这种新型有机-无机复合肥也依然是安全的。

表2 施用用城市污泥堆肥生产的有机-无机复合肥对蔬菜重金属含量的影响

试验类别	处 理	重金属含量(mg/kg) ¹⁾		
		Cu	Zn	Cd
盆栽生菜	空白	0.82 c ²⁾	5.06 b	nd

	化肥	1.14 b	4.47 c	nd
	污泥复合肥	1.24 b	4.52 c	nd
	污泥堆肥	1.53 a	9.26 a	nd
大田菜花	空白	0.64 c	2.48 a	0.001 a
	化肥	0.87 b	2.56 a	0.001 a
	市售复合肥	1.15 ba	2.57 a	0.0014 a
	污泥复合肥	1.02 b	2.58 a	0.0012 a
大田莴笋	空白	1.32 a	3.00 b	0.0041 a
	化肥	1.44 a	2.93 b	0.0040 a
	市售复合肥	1.33 a	3.10 b	0.0046 a
	污泥复合肥	1.32 a	3.45 a	0.0044 a
国家食品卫生标准 ^[11]		≤ 10	≤20	≤0.05

注：¹⁾ 重金属含量按蔬菜鲜重计算；

²⁾ 同一试验中标记不同小写英文字母表示差异达到 $\alpha=0.05$ 的显著水平。

结语

通过 10 多年的多学科攻关研究，开发出适合我国国情的高效低耗堆肥与复合肥生产成套技术，并且建立了日处理 50 吨城市污泥的示范厂。这一技术可以为解决污水处理厂的城市污泥等有机废弃物处置及出路问题提供经济可行的新途径，实现城市污泥的稳定化、无害化，资源化，不仅有利于农业生产、化肥工业和环境保护，更重要的是对我国污水处理行业的健康、快速发展具有重要意义。

污水处理厂污泥处置
——高温消化及污泥焚烧
污水处理厂污泥处置
——高温消化及污泥焚烧

E.Guibelin, 丁明亮, 陈畅, J.SALESSY, 平文凯, 陈晓华
(法国威立雅 (VEOLIA) 水务北京办事处)

A 前言

污水处理厂污泥处理在中国, 包括在国外是一大的课题, 本文介绍一套作者认为非常适合中国实情的污泥处理线。

污泥的高温消化

威立雅对城市大型生活污水池的污泥进行高温厌氧处理已经有二十多座的业绩。和中温消化技术相比, 使用高温厌氧技术, 生物气体的产量和排放量更高。同样, 高温厌氧污泥处理更能减少泡沫的产生。高温池排出的沼气中氧化硫和其他异味物质减少了。使用高温技术后, 杀菌率也显著提高。

从高温消化道污泥焚烧

用高温消化产出的沼气用来作为污泥焚烧炉的燃料。达到了污泥的资源化, 减小了焚烧炉的负荷。污泥焚烧在这一大系列 (消化+焚烧) 中达到热平衡。

污泥焚烧

污泥焚烧在中国制的议题。虽然目前人们的印象中价格昂贵。由于它具有其它工艺不可代替的优点, 特别在污泥量的消减上, 污泥的卫生化, 污泥的最终出路上, 占地面积上, 相信不远的将来。污泥焚烧在中国将有着广泛的前景。

B 污泥高温消化

高温厌氧技术和中温处理技术相比更能有效地降解有机物质, 提高消化污泥中沼气的排放量和降低污泥的挥发物质, 这样减少了消化污泥中排污泥量, 提高了消化泥的脱水率。从中温处理技术到高温处理更能有效地降解有机物质, 因此减轻了消化池的负荷。高温处理技术的其他优势是更有效地杀菌和减少泡沫的产生。

当前的研究是在对大型处理厂进行长期观察后, 对高温和中温消化技术进行对比, 并着重于高温处理中更高的稳定性。

高温污泥中, 丝状物大量减少, 并都受到了破坏。通过显微镜观察表明, 高温污泥中的丝状物更有效地被破坏, 因此减少了泡沫的产生。

高温消化池的沼气基本上不产生臭气。

对高温消化池中的杀菌效果的观察是通过以克为单位, 计量污泥中干性物质的耐热类大肠杆菌素和肠球菌而得来的。通常进入消化池的污泥含有 $10^8 - 10^9$ 单位/克干污泥各种细菌。高温污泥将肠球菌降低到 $10^3 - 10^4$ 单位/克干污泥, 而在中温污泥中肠球菌是 $10^4 - 10^5$ 单位/克干污泥。

存活期平均为 5.1 天的高温污泥还达不到 U.S. E.P.A. 的 A 级标准，但是达到这个限度的样品相对群为 40%。对两个消化池进行混合改良能提高污泥的存活时间，并能提高杀菌率。

工作原理

污泥在厌氧细菌分解处理设备中的消化周期可以得到大大缩短，方法是改变处理的温度，即从中温范围（33—35℃）提高到高温范围（53 - 55℃）。中温处理设备通常情况下的设计消化周期为 20 天，但对于高温处理设备而言，这一周期可以缩短至 12-14 天。这也就是说，许多设计只用于处理一级污泥的处理设备也可以充分地处理活性污泥。当必要的处理设备容量具有可用性时，用于系统升级到高温处理设备的费用可以根据污泥处理费用的情况在以后几年内偿还。

启动高温消化系统：可根据实际条件使用不同的启动策略。在中温消化池处于良好运行的条件下，温度提升所需要的时间长度取决于水厂进行加热的可能性。空置的消化池要么在开始时以中温温度进行启动，要么直接以高温进行启动。无论采不采用接种技术，所有的策略都会带来迅速并且令人满意的启动。

中间过程：对于所有在中温温度状况下启动的处理厂，会经过那么几天的时间，在这期间，沼气中的挥发性脂肪酸的含量和二氧化碳的含量都相当高，其中挥发性脂肪酸的浓度可高达每升 60mmol/l H⁺。在这一阶段，应当小心跟踪情况变化，并且负荷也应当在必要的情况下有所减少。如果是直接以高热温度启动，则就可以避免这样一个阶段。

处理流程的稳定性：高热处理流程已经被证明具有良好的稳定性，其处理周期可缩短至 10—12 天。处理厂的运行温度范围为 50 - 55℃。

作为高温消化处理污泥成份举例，表 1 中介绍了来自丹麦 Holbæk 和 Aalborg Vest 两个处理厂颇具代表性的数据。

表1：来自Holbæk和Aalborg Vest处理厂的高温消化处理污泥中典型的合成物数据

处理厂	污泥类型	处理周期/ 单位：天	总固态物 百分比	PH 值	可挥发性脂肪酸含量： mmol/l H ⁺	碱度： mmol/l H ⁺
Holbæk	活性污泥	11 - 12	1.8	7.7	5 - 9	60 - 65
Aalborg Vest	初沉泥+活性污泥	15	2.8	7.7	3 - 4	80

固态物出产量减少以及沼气的生产：根据来自实验室测试的结果，针对不同类型活性剩余污泥采用的高温消化处理表明，可以预测，就活性污泥部分而言，固态物减少大约 30% 是可能实现的，（也就是说，不计化学污泥的量）。这已经得到了来自全规模处理厂数据的证实。每公斤干活性污泥在处理后可提供的沼气产量大约为 160 升。

对于那些既要初沉污泥也要活性污泥的工厂来说，固态物的减少与沼气产生一般来说都会相当于或者高于预期的指标。固态物的减少之所以能够高于预想，可能是因为初沉污泥量进一步的减少，当然，这是一件非常难以进行证实的事情。

作为一个例子，我们可以引用来自 Aalborg Vest 处理厂的数据。在该厂最初运行的 6 个月中，固态物的减少量估计达到了初沉和剩余污泥（不包括化学污泥）总量的 45%。当然，这一数字

远远超出了预想的指标。

病原体减少: 仅就 8 家处理厂之一的 Horsens 处理厂而言, 病原体的减少主要缘于向高温消化处理的转型。就其他处理厂而言, 病原体的减少已经成为获益的附带效应之一。

位于 Horsens 的处理厂经过设备配备后可以进行单独的巴氏灭菌处理, 根据丹麦污泥在农业方面利用的有关规定, 此污泥被分类为“被控制的巴氏灭菌处理”。这些规定要求, 根据温度, 确保足够的消化周期时间, (例如: 在结合高温消化时, 在 60°C 条件下确保灭菌时间达到 2.5 小时)。另外, 污泥的沙门氏菌和粪便链球菌的含量必须达到指定的指标, 具体指标数已经列入表 2 中。

在 Holbæk 处理厂, 污泥的病原体含量在改型到高温消化之前和之后都进行过检测。检测的结果也列入表 2 中。

表2: Holbæk 废水处理厂采用高温消化前后病原体含量检测结果, 病原体含量对比数据为丹麦关于“被控制的巴氏灭菌处理”的要求指标。

	消化前的活性污泥	经过中温消化后	经过高温处理后	丹麦国家指标
每百毫升沙门氏菌含量	100 - 2,000	100 - 250	< 2	不能被检出
每百毫升粪便链球菌含量	3,000 - 30,000	250 - 400	< 10	< 100

污泥的脱水处理: 一般情况下, 高温消化过的污泥经脱水处理后所能得到高含固率。在 Holbæk 处理厂针对不同类型的脱水设备 (离心分离机、带式压滤机和板框压滤机) 所进行的测试表明, 高温消化后的污泥脱水后, 与未消化的活性污泥相比, 其含固率要高大约 5%。

在那些运行中的全规模处理厂, 污泥均利用现有的脱水设备经过脱水后得到了高含固率。但是, 絮凝特性与未经消化的活性污泥和经过中温处理的污泥的特点相比, 存在着很大的不同。高温消化后的污泥中含有更大数量的细粒, 因此, 通常情况下需要将用另外一种高分子助凝剂。另外, 高分子助凝剂消耗相对要高, 但各处理厂之间情况各有不同。如果细粒没有和污泥结合在一起, 则过滤水呈黑色并且细粒会重新返回到处理厂的送料入口。

由于通过处理后污泥的固态物数量减少, 以干固态物为基础的助凝剂消耗就会出现一定的增长, 但是, 这一增长不影响到年度性的聚合处理成本, 应当是可以接受的。在两家处理厂, Holbæk 和 Hunseby Strand, 助凝剂处理成本一直维持不变。根据处理后的固态物数量, 这两家处理厂在助凝剂消耗方面为每吨总固态物需要 8-9 公斤的活性聚合物。

在象 Åby 和 Aalborg Vest 这样的处理厂, 助凝剂消耗出现了增长, 为此, 人们曾做出各种不同的努力, 试图进一步优化投加量。在 Åby 处理厂, 一种特殊的组合可以提供当时最好的投加量: 即采用 1:1 的比例, 将经过处理的废水掺加到污泥中将其冲淡, 并且在添加过氯化铁之后 (每吨中添加 14 公斤氯化铁), 活性助凝剂剂量减少到每吨干物投放 5 公斤。污泥经过这样处理后经过脱水可获得 23% 的总固态物。这种条件改善与选择增大助凝剂剂量相比, 要便宜很多。

在 Aalborg Vest 处理厂, 目前正在试验一种高、低分子量的阳离子高分子助凝剂。结果是从经过脱水的污泥中含固率高达 25%, 但是, 助凝剂消耗却在每吨投放 10 公斤左右。试验仍然继续以便找到一个更加经济的解决方案。

经过中温和高温处理的污泥所表现出来的脱水特点经过进行实验室研究得到了进一步的调查分析, 现正在和 Aalborg 大学合作, 项目包括污泥的化学与物理性能。这一项目的研究结果将为

解决高温消化中存在的絮结问题提供帮助。

热量回收: 本文中提到的所有的处理厂都配备了泥/泥热交换器用于回收热量。热交换器的能力是根据具体条件进行设计的,目的是能够确保水/污泥热交换器具有充分的可用热量来维持理想的消化处理温度。污泥/污泥热交换器的作用也非常好,典型的热回收率可达到 50—70%的范围。

为了保证连续不断地提供高效率的热量回收,就有必要保持热交换器的清洁,使其不要出现油脂等物的堆积。根据每个处理厂里不同的污泥特点,必须制定并落实一种清洁制度。

如果来自比如某个污泥干化过程的热量能够充分满足需要并且出现剩余,可以不配备用于热量回收的泥/泥热交换器。

其他经验: 当运行方式做出改变能够对剩余活性污泥进行厌氧消化时,污泥中的氨含量出现了大幅度的增长。必须对此予以充分重视,必须及时检查废水处理厂是否有能力处理额外的氮化物含量或者对于废水的处理或预处理是否符合要求。在处理含有生物除磷工艺的污泥时,还应当注意废水中磷含量的提高情况。

高温消化处理后的污泥,在味道上与经过中温处理的生污泥有明显的不同。更高的氨含量是导致这种不同的主要原因,但是,也可能不是唯一的原因。其他的原因可能还包括其中的挥发性脂肪酸的含量存在不同或者更高。

对于在这些处理厂中的多数厂家来说,在从中温处理到高热处理的转换过程中,人们注意到出现过一种更强烈的更难闻的气味。对于多数处理厂来说,这种气味在转型后经过几个月的运行,已经出现降低。但是,仍然有“不同”气味,并且气味有点象是来自猪圈的那种味道。

结论

大型污泥处理厂使用高温消化处理的优点有:

- 提高固体排污的稳定性
- 提高生物气体的排放量
- 改善处理厂的能量平衡
- 高效减少泡沫产生
- 没有异味产生
- 杀菌率更高

对现存的中温消化池进行改良将其温度提高到高温处理的水平后,消化能力将增加 40%,生物气体的排放量也会大幅度提高。

C污泥焚烧及先进的尾气处理

本文威立雅水务以在法国巴黎哥伦布(Colombes)污水处理厂建的 4 座污泥焚烧炉为例介绍当今最先进的污泥焚烧及废气处理工艺。

总体工艺

哥伦布污水处理厂拥有 4 座流化床型污泥焚烧炉,总日处理量为 100tDS,已经运行了 4 年,焚烧炉的先进性还体现在后续先进的废气处理上,处理后的气体达到欧洲最严格的排放要求,特别是在去除氧化氮(NO_x)和二恶英(Dioxins),排出气体的烟囱上安有如 CO,各种酸和粉尘的

连续测定仪。

流化床污泥焚烧炉

许多专家已经认识到在易于操作和维护及具有高的处理水平方面，对于污泥焚烧，流化床型炉子更有效[Heitz M.W.& Biju G,2001]。对大多数有机化合物非常有效的氧化，例如：CO， alkanes 或环类/芬芳类分子。这些都基于在流化床型焚烧炉内（图片 4）完美的燃烧条件和逆向的多余的空气（通常超过 40%）。

表 2 给出了炉子出口烟道废气的典型成分

表 2 焚烧炉出口废气的典型成分

成分	单位	典型范围
O ₂	% 体积比	4 (3 - 6)
CO ₂	%	7 (6 - 10)
氮气	%	47(45 - 55)
水蒸气	%	42 (35 - 50)
SO ₂	mg/Nm ³	500 - 1500
盐酸	mg/Nm ³	100 - 300
CO	mg/Nm ³	10 - 100
一氧化氮	mg/Nm ³	50 - 300
氢氟酸	mg/Nm ³	0-5
灰尘	mg/Nm ³	25 000 - 65 000
二恶英和呋喃	ng/Nm ³	0.01-0.1

高湿度的脱水污泥使得水蒸气的成分明显较高。由于没有废渣从炉子中排出，所有的矿物质成分均以精细的飞灰(大约 35 μm)形式随着烟气排出。

由于温度的限制(< 900°C)，氮氧化合物 (NO_x) 的值较低。

事实上，由于全部的燃烧在过量的氧气和高温条件下(>850° C)，CO 和未燃烧的散发碳总的来看并不明显。

通常，市政污泥中的氯含量低，最小化了 HCl 的释放。低的 HCl 值，伴随还算高的硫磺成分，有限的二氧(杂)芑和呋喃。因为 NO_x 和二恶英值低，通过传统的处理方法能够很容易将原始烟道废气处理干净，去除灰尘和酸气。

然而，用户希望在 90 年代能够预见未来的标准例如：在 2002 年 9 月 20 日颁布的法文法令这是根据欧洲 2000/76/CEE 指令针对无危害焚烧废物规则的翻译。为打消周边邻居对空气污染的敏感，对 NO_x、二恶英和无羽烟给予更进一步的保证。

由当地 1998 颁布的实施的法令指定的空气排放标准接近新的标准并进一步考虑到 NO_x 的值小于 70 mg/Nm³，这一世界上最严格的值来自荷兰空气排放标准。

哥伦布的焚烧炉

污泥焚烧炉的描述

流化床型焚烧炉由两段同轴的圆柱体组成并通过锥型部分连接。底部的筒体带有风箱、燃烧空气分配和压力室，上部筒体是燃烧发生的燃烧室，两者均为内衬耐火砖的钢结构，具有大的容积，能适应高温(高达 1 200° C)和磨蚀。风箱和燃烧室用自支撑的耐熔砖拱门分离，在那有成层的进风口同时也支撑 1.00m 高的砂床；当膨胀时，砂床高为 1.5m 并担当热储存单元能够提供热量将水转化成水蒸气并把干的残余物氧化。

燃料和污泥被直接放置到砂床的底部被烧弃。

热交换器用于保护额外的热量冲击或过热，通过安装在炉子顶部的水喷洒装置。当温度超过 870° C 将削弱热交换器的机械强度，水雾将投入使用。

风箱是一个由内衬耐火砖竖向轴的钢圆柱体，在这里进气管中的空气被预热到 550° C。通过对排放气体中剩余氧含量的测量监控超额空气的百分比。

同空气进口相反的位置，燃油气体燃烧器用于在调试、启动、和长期停炉后预热焚烧炉。

空气热交换器

空气热交换器从烟道中回收部分热量，在空气进入风箱前加热空气。逆向流的交换器降低烟气和灰尘的温度从 870° 到大约 600 – 650° C，烟气垂直地由顶部到底部，而空气由导流板引流。

整个交换器由具有很高耐腐蚀性的水平管和垂直的烟气管道组成。

二级热回收交换

二级热回收交换的目的在烟气进入电除尘装置前将其冷却到低于 300° C 用以保护电除尘装置。二级热回收交换器是一个非常传统的设计，包括了平滑的管道和无合金的钢。

热转移流体（过热水，约 140° C）对应烟气以逆向流经管道内，过热水多余的热量用于水处理厂采暖，最大能力为 3000 kW。

燃烧空气鼓风机

燃烧用空气流量可以在控制室调节，根据要烧弃的污泥量和性质（挥发性成分，低卡路里值 LCV 等等），为使得在排放废气中有剩余的氧气，要有 11%的额外空气。

烟道废气处理线的描述

半湿系统烟气处理工艺被公认为非常有效地满足现有的规范[Guibelin E., 2002]

每台焚化炉装有一条特殊的烟道废气处理线。排放的烟道废气通过安装在竖向排气管道上的热交换器预冷却到 300° C。

静电除尘

此工艺由一个在焚化炉出口处安设的干式静电灰尘捕捉器组成。在这个设备中，排放气体内含有的固体颗粒的分离是通过排放和收集电极之间的静电反应完成的。排放电极(-)在高压下(60 至 100kV)产生电弧效应放射高速游离电子。电离并吸附在废气内的颗粒上。负离子在静电效应下流向收集电极(+)。干式灰尘去除阶段去除大部分颗粒(>99.9%)。在化学洗涤和袋式过滤器

阶段仅去除很少量的颗粒。另外，静电捕捉器还可去除大部分的重金属。这是由于在近 300° C 的工作温度下大部分重金属以颗粒状形式附着在废气颗粒上。

湿式洗涤

这步包含两个化学洗涤塔。

灰尘去除阶段的出气含有有毒气体如二氧化硫，盐酸和氢氟酸，这些需要去除。一级洗涤塔通过水循环讲废气温度从 300° C 降至隔热饱和温度(70-80°C)。这是为了避免洗涤塔内化学元素局部过热。

在二级洗涤塔内，由于氧化反应生成二氧化硫并通过投加苏打转化成硫酸盐。排出液中含有硫酸钠。柱状洗涤塔内连续由基液清洗，以提高酸的吸收效率。防腐离心泵将洗涤液从底部循环至顶部。

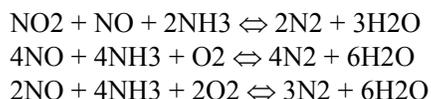
在脱硫柱顶部有一高效雾滴去除器，在废气排放至大气中之前将雾滴去除。

袋式过滤器

烟道废气通过气/气热交换器加热。灰尘沉积在一层很薄的多孔滤料内。滤料周期性的通过压缩空气反冲。排气量小于 5 mg /Nm³。

接触反应塔

烟道废气再加热值 265-290°C 后进入蜂巢型接触器，在这里投加氨水。NOX 发生如下化学反应：



排放中和

从洗涤塔排放出来的液体重力流至中和池内。在苏达中和调节 pH 值后再通过泵提升回水处理工艺单元。

炉灰储存及去除

炉灰由细小颗粒形成并含有原污泥中的金属物质。通过静电沉淀槽炉灰直接送至传输系统再通过传送带送至料仓。

在炉灰装车前需要加湿（避免扬灰）。

运行结果

一年两次对排放废气进行全面地化验分析，以检查是否达到保证值。

运行条件

废物焚烧

3 台焚烧炉共同工作可连续处理 3200 tDS/月或每台炉子处理 120 吨湿污泥每天@ 30%DS。实际上，处理总量在年平均是只是 60%，但在峰值月是为 90%（春季发生洪水时）。

试验期间保证最大能力的 50%，因此仅适用 2 台炉子工作在 75% 单位负荷下。下表给出了焚烧炉之前的污泥产量和特性：

表 3: 废物焚烧

	湿泥吨数/小时		VS/DS	L.C.V. /VS	热量
	容量	w/w	w/w	MJ/kg VS	kW
污泥	7,66	29,1%	64,7%	23,5*	9 400
油脂	0,08	50,0%*	98%	36,8*	400
总值	7,74	29,3%	65,3%	23,8*	9 800

(* 估算)

有效性为 96.9%。仍有 3.1% 的时间（实际 3x45 分钟）污泥供给由于各种原因（如脱水污泥和油脂混合物内有水囊）是停顿的。焚烧炉是连续运行以保持热量和需氧量（鼓风机和燃料供应都保持连续以备随时进泥）。

烟道废气

在焚烧过程中，条件是维持恒定的。出口测量如下：

- 正常值 = 15000 Nm³/h / 焚化炉
- 温度 = 140 °C
- 废气内含氧量 = 11%
- 水蒸气 = 8-10 %

排放废气质量

表 4 中给出了 2001-2002 年中三个工作周期的排放废气值。三天平均值不包括 NOx 值，相应的最后工作周期时产生 deNOx。这些工作周期证明了焚化炉满足了需要。满负荷（100% 代替 75%）不会改变结果。

使用探测器对 NOx, HCl, SO₂, CO, 和灰尘连续监测同时检测 H₂O 和 O₂。这些参数每隔 ½ 小时打印出来。

每天取样测量重金属、二恶英和呋喃。

表 4: 毒气泄出标准及实验值

		法国条例 2002	运行法令 1998	实验数据 2001 /2002
总废气	mg/Nm ³	10 ; 30 (*)	15	2.3
CO	mg/Nm ³	50	80	20.8
TOC	mg/Nm ³	10 ; 20	20	14.4
HCl	mg/Nm ³	10 ; 60	25	0.4
HF	mg/Nm ³	1 ; 4	2	0.14
SO ₂	mg/Nm ³	50 ; 200	100	6.8
NOx as NO ₂	mg/Nm ³	200 ; 400	400; 70**	47
重金属 (-Zn)	mg/Nm ³	0.5	4	3.3
Cd	mg/Nm ³	0.05	0.2	0.03
Hg	mg/Nm ³	0.05	0.2	0.09

二恶英和呋喃	ng/Nm ³	0.10	0.10	0.08
--------	--------------------	------	------	------

*第一个值 = 日平均值; 第二个值 = ½小时平均

** 日平均第一个值 = deNO_x 关; 第二个值 = deNO_x 开

热量平衡

在 2001 年建立的年热量平衡中显示无论哪个季节, 污泥处理的燃料消耗为 11 至 12 升/ m³ 污泥。同样的, 最大的焚烧炉冷却用水量为 20 升/ m³ 污泥。

如前所述, 不规则的 LCV, 由于污泥与油脂间的搅拌不好, 打乱的污泥的稳定状态, 需要更多的燃料或水来调节热量平衡。

事实上, 焚烧炉经常工作在 50%的设计负荷下。由于流化体是恒定的, 所以要引入过量的空气, 这就需要更多的热量来保持焚化炉内的设定温度。

将来, 更好的控制污泥供给, 可提高热量的平衡。

结论

哥伦布焚化厂可在峰值负荷时按照严格的规范处理污染物达标。

然而, 为了保持热量自持能力, 污泥处理线还可改进。可以维持供泥的泥量和热量的恒定。这样, 大量的能源将被连续回收, 将超过 35%的污泥所需热能。

D总结

根据上述介绍内容, 我们认为:

- A. 从高温消化的优点来看, 这种技术值得在中国推广。
- B. 污泥焚烧虽然一次性投资较高, 但其运行成本不是很高, 它确实是一种污泥最终出路的解决办法, 这种焚烧炉已经在世界上一些经济不算发达的国家得到了应用。如俄罗斯、土耳其。笔者认为, 这种技术可以在中国一些沿海大城市开始推广。

威立雅集团将会很积极地为在中国污泥处置推广世界先进技术和工艺。

参考文献

Aaitken M.D. and Mullennix R.W. (1992). Another look at thermophilic anaerobic digestion of wastewater sludge. Water Environ. Res., Vol. 64, No 7: 915-919.

Alatiqi I.M., Hamoda M.F. and Dadkhah A.A. (1998). Kinetic analysis of thermophilic anaerobic digestion of wastewater sludge. Water, Air and Soil Pollution 107, 393-407.

Sørensen J., Tholstrup G. and Andreasen K. (1999). Anaerobic digestion and thermal hydrolysis to reduce production of sludge in wwtp's. Vatten 1, 45-51.

Bente Nielsen and Gert Petersen (1999) THERMOPHILIC ANAEROBIC DIGESTION AND PASTEURISATION. PRACTICAL EXPERIENCE FROM DANISH WASTEWATER TREATMENT PLANTS "Wat. Sci. & Tech. Vol 42 pp65-72"

J. Zabranski, M. Dohanyos, P. Jenicek, P. Zaplatilkova et J. Kutil (2000) LA CONTRIBUTION DE LA DIGESTION ANAEROBIE THERMOPHILE A L'OPERATION STABLE DU TRAITEMENT DES BOUES DES EAUX USEES

Heitz M.W., Biju G. "emissions optimization of a new fluid bed reactor" WEF/AWWA/CWEA Joint Residuals and Biosolids Management Conference held in San Diego (CA), feb.2001

Guibelin E. " sustainability of thermal oxidation processes : strenghts for the new Millenium » Water Science & Technology, vol 46 ,N°10, 2002 , p 259 -267

适合我国国情的市政污泥无害化处理先进技术

王璠 霍跃文 杨明 王涛 陶理平

(机科发展科技股份有限公司)

前言

市政污泥是城市污水处理厂在水处理过程中产生的沉淀物质,既含有大量的微生物、有机质及丰富的氮、磷、钾等营养物质,又有超标重金属、病原微生物等,如处理不善将会造成严重的二次污染。

中国现有人口 13 亿多,城市 640 多个,城市人口 2.7 亿。据中国国家环保总局提供的数字,目前中国每年大约排放污水 401 亿 m^3 ,已建成运转的城市污水处理厂有 400 余座,日处理能力 2534 万 m^3 。按污泥产量占处理水量的 0.3%~0.5% (以含水率 97%计) 计算,中国城市污水厂污泥的产量在 7.602 万 m^3/d 和 12.67 万 m^3/d (以含水率 97%计) 之间。因此,中国在污水处理事业不断取得进步的同时,将面临巨大的污泥处理处置压力。

长期以来,受我国污水处理界“重水轻泥”倾向的影响,污泥的卫生化、无害化处理处置问题一直未得到重视与解决,为了解决好市政污泥的出路问题,国内外科研与工程技术人员进行了大量研究与实践。而随着城市排水系统的完善和污水处理率的提高,污水污泥产量的增长,也使得污水污泥的处理问题更为突出,因此研究先进的污泥无害化技术的意义也越来越重大。

1. 国内外市政污泥无害化处理概况

1.1 国外城市污水污泥的处置状况及分析

目前国外城市污水污泥的处置途径通常包括以下几种方法:土地利用、卫生填埋、焚烧处理等方法,这些方法都能够容纳大量的城市污水污泥,但因国家的不同而应用情况有所不同。为避免处理厂污泥对环境的二次污染,各国政府及研究机构对污泥的最终处置问题十分重视,并根据各国的国情制定出污泥处置的法规和具体方案。据调查资料统计,国外污水厂污泥或用于农林绿化,或焚烧处置,或投海疏散,另有很少部分以其它方式处置或利用。

由此可见土地利用和陆地填埋是大多数国家污泥处置的两种最主要方法。农用和陆地填埋方案的选择很大程度上取决于各国政府有关的法律、法规和污染源控制状况,同时也与国家的大小和农业发展情况有关。近年来,随着污泥农用标准(如有机物和重金属含量)日益严格的趋势,

许多国家,如德国、意大利、丹麦等,污泥农用的比例不断降低,而污泥填埋的比例有增加的趋势。但也有一些国家,如美国、英国和日本等污泥农用的比例呈增加趋势,污泥填埋的比例呈减少趋势。

1.2 我国城市污水污泥处置状况及分析

在我国市政污泥处理和处置技术刚刚起步,全国现有污水处理行业中有污泥稳定处理设施的还不到 1/4,处理工艺和配套设备较为完善的还不到 1/10,能够正常运行的为数不多;我国传统的污泥处理处置存在基建投资大、负荷低、运行管理难度大、运行经验缺乏等问题,所以造成设备闲置,浪费极大。我国现有的污水处理厂,其污泥绝大部分未能得到妥善处置;污泥处置已经成为污水处理厂设计、运行中必须优先考虑的重要环节。因此,污泥无害化处理和处置是我国面临的技术挑战。

我国自 80 年代初第一座污水处理厂天津纪庄子污水处理厂建成投产后,污泥即由附近郊区农民用于农田。其后北京高碑店等污水处理厂的污泥也均用于农田。随着城市污水污泥产生量和污水处理厂的逐渐增多,目前我国已开始将污水处理厂污泥用于土地填埋和城市绿化,并将污泥作基质,制作复合肥用于农业等。但在国内,总的状况还是以污泥土地利用的形式为主,将污泥用于农业。由于国内在污泥管理方面对污泥所含病原菌、重金属和有毒有机物等理化指标及臭气等感官指标控制的重视程度还不够高,因此限制了对污泥的进一步处置利用。

国内的污泥处置,即最终出路存在严重问题,从上图可以看到仍有 13.79%的污泥没有任何处置,这将为环境污染带来巨大危害。污泥散发的臭气污染空气,病原菌对人类健康产生潜在威胁,重金属和有毒有害有机物污染地表和地下水系统。由于国内污泥处理处置的起步较晚,许多城市没有将污泥处置场所纳入城市总体规划,导致很多处理厂难以找到合适的污泥处置方法和污泥弃置场所;我国污泥利用的基础薄弱,人们对污泥利用的认识存在严重不足,对污泥的最终处置问题缺乏关注,给一些有害污泥的最终处置留下了隐患;污泥的利用率不是很高,仍有一部分的污水厂污泥只经贮存即由环卫部门外运市郊直接堆放,尤其是国内一些南方城市很多采用这种方式。这样的处置方式既影响了污水厂的正常运行,同时污泥的随意堆放既产生二次污染,又造成污泥资源的浪费。因此,我国当前面临的问题是尽快发展污泥无害化处置技术来解决不断增长的污水污泥对环境造成的危害。

2. 我国市政污泥无害化处理的发展过程

随着我国经济和城市化的发展,城市污水处理的规模不断扩大,污水处理程度不断提高,到 1993 年为止,全国已建成和在建的污水处理厂已达 117 座,污水处理能力达到 513.6 万 m^3/d 。九·五期间,每天进入污水处理厂的污水增加到 900 余万 m^3/d 。

我国环保工作者十分重视污泥无害化处理与利用技术，太原市政工程处在 80 年代派员去日本培训，并完成了污泥好氧发酵实验研究，并实现小规模制肥的成功。北京市环科院曾用高碑店污水厂污泥进行堆肥实验研究，九·五期间开展了卧式旋转仓堆肥中试。机械科学研究院在八·五期间完成了污泥堆肥工艺实验，并开发了污泥堆肥的工艺设备。九·五期间，国家科委相继投入开发经费从事对污泥利用开发的进一步研究，部分污水处理厂已分别采用几种方式进行污泥利用的探索及实验。

在 90 年代，我国已有部分研究院、所与污水处理厂联合对污泥无害化技术进行工艺研究，并做一些小型实验；机械科学研究院在八·五期间完成了国家科委下达的攻关课题“污泥好氧堆肥成套设备”，并在唐山建设了示范工程；在九·五期间完成了国家科委下达的攻关项目“污泥快速制肥成套设备”，并先后在唐山、秦皇岛建设了示范工程。

到 2000 年我国已有部分污水处理厂建设了工艺简单的污泥处理工程，如：

- 大连开发区污水处理厂上马了污泥干化项目；
- 山东省淄博市污水处理厂上马了污泥干化制肥项目；
- 河北省保定市污水处理厂上马了污泥干化制肥项目。

虽然有许多污水处理厂上了污泥干化制肥项目，但工艺技术水平较低，效率低、能耗大。

随着人们环境保护认识的不断加强，特别是在 2002 年“非典”以后，我国污水处理厂污泥处置问题已经提到议事日程上来，许多污水处理厂都在探索有效的污泥处理方法，其中具有代表性的是：

- 北京市排水集团年处理 10 万吨污泥的大兴污泥消纳场；
- 山西省太原市排水集团的沃土制肥公司；
- 河北省唐山市西郊二厂污泥无害化工程（正在建设中）。

3. 目前适合我国市政污泥无害化处理的先进技术

3.1 我国市政污泥处理现采用的主要方法

目前在我国市政污泥处理中主要采取的方法有海洋倾倒、卫生填埋、焚烧、污泥热干化、堆肥等多种处理技术。各种方法的有其不同的优缺点。

(1) 海洋倾倒：目前世界各国基本上都不允许往海洋倾倒污泥。

(2) 卫生填埋：虽然卫生填埋操作简单、费用低，但是渗沥液难处理，影响地下水系。并且国内的一些垃圾填埋场，禁止含水 80%的脱水污泥直接进入填埋场，原因不仅有渗沥液问题，关键由于污泥含水率高，各种压实设备无法工作，造成填埋场无法运行，现阶段填埋场只允许含水

40%以下的污泥进入填埋场。

(3) 焚烧：焚烧处理技术优势在于其处理的彻底性，其减容率可达到 95%左右，其有机物被完全氧化，重金属（除汞外）几乎全被截留在灰渣中。但是该方法的缺点为投资和操作费用较高；在焚烧过程中产生飞灰、炉渣和烟气等难以处理的物质，且焚烧处理成本高。

(4) 污泥热干化技术：污泥热干化技术指利用热破坏污泥的胶凝结构，并对污泥进行消毒灭菌。干燥温度可达 95℃以上，能够有效的杀灭病原菌。能使污泥显著减容，产品稳定，无臭且无病原生物，干化处理后的污泥产品用途多，可以用作肥料、土壤改良剂、替代能源等。优点占地少，自动化程度高，如果污泥进行完全干化，干到含水 10%以下能耗很大、设备投资高。

(5) 污泥堆肥技术：污泥堆肥技术实质上是利用污泥中的好氧微生物菌对污泥进行好氧发酵的处理过程。借助于混合微生物群落，对多种有机物进行氧化分解，使有机物转化为植物容易吸收的类腐殖质。其优点为利用生物能，节约能源，肥效好；其缺点占地面积大，周期长，易产生臭气等。

综合如上污泥处理工艺技术的特点并结合我国国情，推荐目前适合我国市政污泥无害化处理的先进技术。

3.2 污泥预干化技术与高温好氧堆肥发酵技术集成

3.2.1 污泥预干化技术

污泥干化技术是通过热能对污泥进行水分去除处理，在干化过程中将耗去大量的热能，为了降低污泥干化所需要的热能，我们对污泥干化过程中的能耗情况做了大量的分析研究和实验。

由上图可知脱水污泥经加热干化使含水率由 80%降到 60%这一段所消耗能量小，其主要去除的是污泥中的游离水；同样含水率在 35%以下继续干化消耗能量也小，这两段的能量消耗基本接近理论值；污泥在含水率 35%-60%之间，为污泥的塑性阶段，这阶段污泥的流体特性类似胶水，胶状、粘稠，很难处置，对其干化消耗能量急剧增加，很难干化。根据上述特性，干化污泥要避免污泥塑性阶段。要充分利用污泥干化特性，尽量在含水率 60%以上，35%以下干化。在含水率为 35%-60%之间干化耗能约为含水率 60%以上和 35%以下干化能耗的 2.5 倍；所以我们对市政污泥采用预干化技术，使脱水污泥含水率由 80%降至 60%，这样大大节约了能耗。

3.2.2 污泥高温好氧堆肥技术

污泥高温好氧堆肥技术是将含水 50~55%的污泥进行好氧堆肥发酵，高温好氧发酵过程是通过好氧性微生物的生物代谢作用，使污泥中有机物转化成富含植物营养物的腐殖质，反应的最终代谢物是CO₂、H₂O和热量，大量热量使物料维持在 60℃以上的持续高温，降低物料的含水率，

有效地去除病原体、寄生虫卵和杂草种子，使污泥达到减量化、稳定化、无害化、资源化目的。

3.2.3 污泥预干化技术与高温好氧堆肥发酵技术集成

采用污泥加热干化过程中能耗最低的阶段（含水率由 80%~60%），使污泥含水率由 80%降至 60%，再与部分菌种进行混合，使污泥含水率调整到 55%，含水率 55%的污泥正好适合污泥高温好氧堆肥发酵的条件，经 10~15 天的堆肥发酵后物料的含水率降至 25%左右，堆肥发酵后的物料一部分作为菌种回填循环利用，另一部分可作为营养土，由于污泥中富含 N、P、K 等营养物质，在好氧菌作用下稳定熟化，易于植物吸收，直接用于园林绿化、植被恢复、回填土等。

3.2.4 污泥预干化与堆肥工艺特点

(1) 能耗低（以日处理 50 吨含水 80%污泥计） 预干化比完全干化（含水由 80%降到 10%）节省 50%以上的热能。

(2) 占地小 对比完全干化，预干化设备主机体积只相当完全干化设备主机的体积一半。对比完全堆肥，因为预干化减容一半，以后再堆肥，对比完全堆肥占地减少一半。

(3) 运行费用低 以蒸汽为热源：如果每吨 8bar 蒸汽估价为 40 元，则核算预干化 1 吨污泥成本为： $39.6 \text{ 吨蒸汽} \times 40 \div 50 = 32$ 元能源费用。对比完全干化 $62.7 \text{ 吨蒸汽} \times 40 \div 50 = 50$ 元能源费用。（暂时考虑用电功率及其它条件一样）

(4) 自动化程度高 实现无接触自动化操作，自动化、现代化程度高。

(5) 适用范围广 适合各大中型污水处理厂，不仅可以处理市政污泥、还可以处理石化污泥、酒糟等有机废物，处理量可以在 40-600 吨/日脱水污泥。

3.3 污泥晾晒技术与堆肥处理工艺

3.3.1 污泥晾晒工艺

近年来，许多污水厂在污泥处置方面做了大量的工作，如北京排水集团的大兴污泥消纳场，其每天平均消纳 300~400 吨含水率为 80%的脱水污泥，其处理工艺是：从污水厂送来的含水率为 80%的脱水污泥首先在露天的场地进行条垛堆肥，然后在进行部分干燥处理；由于含水率为 80%的脱水污泥在露天堆放，则受天气的影响很大，在雨季污泥很不容易干化，并且大量的污泥露天堆放对环境也有很大影响。为了解决上述问题，我们提出将含水率为 80%的脱水污泥在阳光大棚内以 0.4~0.6 米的厚度堆放，并使用专用晾晒翻堆设备对污泥进行多次晾晒翻堆，使污泥含水率由 80%快速降至 60%，达到污泥好氧发酵的条件。该工艺是利用太阳能对污泥进行水分去处，工艺简单，能耗很低，并且污泥干化过程中产生的恶臭气体容易有效收集进行除臭处理。

3.3.2 污泥晾晒技术与好氧堆肥发酵处理技术集成

含水率为 80%的脱水污泥在阳光大棚中经过晾晒翻堆后，其含水率由 80%快速降至 60%，再与好氧发酵菌种、部分添加剂（粉煤灰）等回填物及除臭剂充分混合以后，通过布料设备均匀送到卧式发酵仓内，在发酵仓内强制通风使物料充分好氧发酵，同时通过翻堆机搅拌使其均匀发酵并且推动物料向前运动。经十天发酵后物料的含水率已降至 25%，干燥后的物料一部分作为回填物循环利用，一部分根据市场需要加入土壤营养素制成符合国家标准的商品肥，如果市场需求不足可以一部分制肥，一部分不加入营养素直接输出作为园林绿化、土壤改良或回填土用。

3.3.3 污泥晾晒与堆肥处理工艺特点：

(1) 优点：投资小、能耗低、运行费用低。在阳光棚式建筑物里，利用太阳能照射污泥，在机械化晾晒翻堆设备的翻动、打散、移动下，通过特殊设计的风路及除湿系统，使污泥在 5~8 天左右时间内含水率降到 60%，达到发酵的条件。所以整个过程，不需要添加热能。

(2) 缺点：占地大，对比预干化堆肥工艺大约增加占地一倍以上。对比完全堆肥工艺略小些。自动化程度低，不能实现无接触、无人操作。适合小型污水处理厂，处理量可以在 60 吨/日脱水污泥以下。晾晒过程中产生臭气对环境的影响大，需要上除臭装置解决该问题。

3.4 高温好氧堆肥工艺技术

3.4.1 全堆肥技术

高温好氧堆肥技术是将含水率为 80%的脱水污泥和大约一倍的含水率为 10%以下的干污泥、菌种、添加剂（粉煤灰）等进行混合，使混合后的物料含水率为 55%左右，然后通过布料设备均匀送到卧式发酵仓内，在发酵仓内强制通风使物料充分好氧发酵，同时通过翻堆机搅拌使其均匀发酵并且推动物料向前运动。好氧发酵过程是通过好氧性微生物的生物代谢作用，使污泥中有机物转化成富含植物营养物的腐殖质，反应的最终代谢物是 CO_2 、 H_2O 和热量，大量热量使物料维持在 60℃以上的持续高温，降低物料的含水率，有效地去除病原体、寄生虫卵和杂草种子，使污泥达到减量化、稳定化、无害化、资源化目的。

经 10~15 天的堆肥发酵后物料的含水率已降至 25%左右，堆肥发酵后的物料一部分作为菌种回填循环利用，另一部分可作为营养土，由于污泥中富含 N、P、K 等营养物质，在好氧菌作用下稳定熟化，易于植物吸收，直接用于园林绿化、植被恢复、回填土等用

3.4.2 全堆肥处理工艺特点：

(1) 优点：能耗低、运行费用低、投资省，建设周期短，

(2) 缺点：占地面积大、适合小型污水处理厂，处理量可以在 50 吨/日脱水污泥以下。自动化程度低，不能实现无接触、无人操作。发酵过程中产生臭气对环境影响大，需要上除臭装置解决该问题。

4. 目前我国市政污泥无害化处理中存在的问题

国内城市污水污泥的处理起步较晚，其中也存在许多问题，主要表现在以下几个方面：

4.1 污泥处理率低、工艺不完善

我国存在着重废水处理，轻污泥处理的倾向。很多城市未把污泥的处理作为污水厂的必要组成部分，往往是污水处理厂建成后，相当长的时间后才建立污泥处理系统，造成我国城市污泥处理率很低。大量未经过稳定处理的污水污泥将对环境产生严重的二次污染，将为运输及后续处置带来许多不便。

4.2 污泥处理技术设备落后

当前我国有些污水处理厂所采用的污泥处理技术其水平还停留在发达国家的 60-70 年代的水平，而且有些污泥处理技术根本不合乎国内的污泥特性，污泥处理设备比较落后，性能差、效率低、能耗高，专用设备少，未能形成标准化和系列化。因此，限制了我国污泥处理技术的提高和发展。

4.3 污泥处理强制法规不健全

目前我国对污水处理已有较完善的法规体系，但对市政污泥处置还没有健全的法规，特别是对污泥乱排现象还没有相应的对策；对污泥处理费用也没有明确。

5. 结束语

从国内今后的发展趋势来看，其城市污水处理将形成以国家投资的大型污水处理厂为主，各地区根据经济发展状况投资兴建的不同规模污水处理厂并存的局面，因此，对污水厂污泥的处理应根据污水厂所处的环境位置、处理规模、资金来源、经济技术水平来确定适合中国国情的工艺方法和技术设备等。

在考虑选用某种污泥处理处置方法时，要从环境安全、资源投入产出和收益影响比四个方面来考虑污泥处理方案，同时兼顾环境生态、社会和经济效益三者之间的平衡。不管采用那一种污泥处理处置措施都需要考虑投资和运行成本和经济承受能力，要在设备投资、运行费用、地价和人力价格等基础上对处理方法加以综合评估。

面对我国污泥产生和处理处置状况，今后需要采取的策略是：首先污水处理厂应当重视污泥处理和处置，加强污泥管理力度。其次国家和行政管理部门应当加速建立和完善污泥处理处置的相关法规。由于我国存在大量中、小型污水处理厂、污泥产量小、处理技术低，所以建议由政府部门带头，广开融资渠道、组建一批按市场经济规律运转和管理的大型城市污泥处理处置中心。同时我们环保科技工作者积极努力攻关，开发出更具适合我国国情的新的污泥无害化技术，为我国的环境保护事业做出更大的贡献。

上海市污泥处理处置管理战略研究

张善发

(上海市城市排水有限公司)

引言

上海市,地处长江三角洲,目前正以历史上最快的速度向现代化、生态型国际大都市发展。根据《上海市污水系统专业规划》,到 2020 年上海市旱天日均污水量 $5.88 \times 10^6 \text{m}^3/\text{d}$,污水收集处理率达到 90%。在进行污水处理的同时,必须对产生的污泥进行处理处置。因此,研究确立上海市城市污水处理厂污泥处理处置管理战略,对于指导专业规划编制、工程方案决策、工程建设和运行管理,都具有重大的意义。

背景介绍

污水污泥处理处置现状

与上海市城市社会发展相适应,上海市污水处理厂的布局可分为中心城区污水处理厂和外围城镇污水处理厂两大类。在中心城区,与排水体制(分流制/合流制)布局相配套,已建中、小型污水处理厂 12 座(合计处理能力: $5.4 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$),在建大型污水处理厂 4 座(石洞口: $4.0 \times 10^5 \text{m}^3/\text{d}$;竹园一厂: $1.7 \times 10^6 \text{m}^3/\text{d}$;竹园二厂 $5.0 \times 10^5 \text{m}^3/\text{d}$;白龙港: $1.2 \times 10^6 \text{m}^3/\text{d}$)。在外围城镇,与城镇发展相配套,已建在建小型污水处理厂合计处理能力约 $7.2 \times 10^5 \text{m}^3/\text{d}$ 。

为贯彻执行中华人民共和国《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002),对中心城区规划废除的污水处理厂进行功能报废,对规划保留的污水处理厂进行功能升级达标改造。对外围城镇污水处理厂亦实施功能升级达标改造工程。

上海市现有污水处理厂(中心城区、外围城镇)的污泥处理处置现状,可概括为以下 3 类:

(1) 污泥经重力浓缩后,进湿污泥池,湿污泥用船外运土地处置;(2) 污泥经重力浓缩后,机械脱水(带式压滤机、离心机),脱水后泥饼或土地处置或进入城市固体废弃物处理处置系统;(3) 工业废水含量较多的污水处理厂污泥,经重力浓缩机械脱水后焚烧处理处置。

污泥产量预测

污水处理厂污泥产量受进水水质差、处理工艺和处理程度等众多因素影响。综合美国 EPA 和德国 ATV 提供的污泥量预测方法、国内设计规范的计算方法、依据上海市现有污水处理厂的实际统计数据和部分中试试验数据、并进行理论计算核实,推荐采用污泥量预测参数为:

二级生物处理污水处理厂污泥产量(含初沉污泥和二沉污泥)为污水量的 6%(含水率为 97.5%);

一级污水处理厂污泥产量为污水量的 6%(含水率为 97.5%);

一级强化污水处理厂污泥产量为污水量的 7%(含水率为 97.5%)。

依据上述污泥量预测参数,结合规划污水处理厂工艺选择和建设进度,上海市规划污水处理

量和污泥产量预测值见表-1。由表-1 可知，到 2005 年，上海市污水处理厂污泥产量为 773（吨/日干固体），折合含水率 80%污泥泥饼 3860 吨/日，折合含水率 65%污泥泥饼 2206 吨/日。因此污泥的处理处置必须作为一个重大的战略问题予以重视并解决。

表-1 上海市规划污水处理量和污泥产量预测值

规划年限	近期（2005 年）	中期（2010 年）	远期（2020 年）
污水处理量（m ³ /d）	4.66x10 ⁶	5.25x10 ⁶	7.95x10 ⁶
污泥产量（T/d TS）	772	860	1286

上海市城市自然条件和污泥处理处置可利用资源

自然条件

上海市地势低平、地貌单一、河网密布。平均年降雨日 125-136 天，平均年降雨量 1100-1400mm。地下水位高。土地资源有限、价格昂贵。建材紧缺。能源紧张。

可利用资源

森林绿地：2005 年，上海中心城区绿地总量 150km²，绿化覆盖绿 37%，2020 年绿地总量 230-240 km²；上海外围形成“一环十六廊、三带十九片”的城市森林生态系统。总计森林绿化增加面积约 1200 km²。

滩涂围垦：2001—2010 年规划围海造地 55 万亩，促淤 108 万亩；2011—2020 年设想围海造田 60 万亩，促淤 120 万亩。根据滩涂资源分布状况，促淤圈围规划布局为“三大区域八大块”。

垃圾填埋：基于跨行业的合作，垃圾填埋场产生的渗滤液经预处理后进入大型污水处理厂进一步处理，污水处理厂产生的污泥经稳定化、无害化处理后，补充垃圾填埋场的覆盖土。

辅助建材：污泥经稳定化、无害化处理后，可以进入水泥厂作为少量添加原料消耗处置；可烧制轻骨料作为轻质建材或筑路基材等。

补充能源：污泥稳定化处理过程中回收生物能源；作为小火电的辅助能源材料等。

排水市场化提出的新问题

随着上海市排水行业“管理、建设、运行”三分开格局的初步形成，污水处理厂污泥的最终处置问题，必须由行业和政府加强研究，形成“战略统一、管理统一、规划统一”、“政府搭台、行业监管、市场运作、企业唱戏”的良性机制。

上海市污泥处理处置战略构成

指导思想和战略原则

指导思想

“一个国家、一个城市、一个财团、一个学术团体，可依据不同的条件和经验提出污泥处理处置战略的指导思想”。但有两点认识是一致的：“在污水处理的同时，必须对污泥进行最终处置，一个污水处理厂如果没有解决污泥最终出路问题，这个污水处理厂就不值得运行”；“污泥残余物只能处理处置，不能消灭，故不管采用何种形式，污泥残余物总以一种形式存在于环境中。原则

上讲，污泥的最终处置出路只有二条：其一是使污泥脱离自然物质循环（如：填埋）；其二是使污泥参与自然物质循环过程（如：农用）”。

上海市污泥处理处置管理战略的指导思想是：根据上海市的实际情况，寻求满足近期、中期、远期总体要求的最优经济技术策略，并实现环境保护的目标。通过若干年的努力，在合理利用现有设施的基础上，充分利用上海市的可利用资源，适应上海市的经济发展状况，实现污泥“处理分散化、处置集约化、技术多元化、目标阶段化”的处理处置战略。

战略原则

因地制宜、因时制宜：适合上海特点、利用可用资源；适应上海目前经济发展现状；预留将来发展空间；

多元可靠、安全经济：采用多元的污泥“减量化、稳定化、无害化、资源化”处理处置技术；建立可靠、安全、环保的污泥处理处置体系；通过经济控制和市场运作，实现污泥处理处置系统的经济可行；

统一布局、分步实施：在统一规划布局的基础上，结合污水处理厂建设，分步实施污泥处理处置的战略目标；

制定标准、配套政策：制定不同污泥最终处置方式必须遵循的技术标准，配套政府监管、市场运作的政策。

政府引导、市场运作：在政府引导下，形成污泥资源化处置的市场化运作的平台。

战略目标和战略布局

战略目标

到 2005 年，污泥稳定化处理率 90%，污泥资源化处置率 5%；

到 2010 年，污泥稳定化处理率 92%，污泥资源化处置率 45%；

到 2020 年，污泥稳定化处理率 100%，污泥资源化处置率 70%。

战略布局

工艺选择布局：

在污泥稳定工艺选择方面，重金属含量（或工业废水）比例较高的污水处理厂，污泥稳定化处理工艺采用“脱水后直接焚烧”或“干化+焚烧”技术；小型生活污水处理厂污泥稳定化处理工艺采用“好氧固态发酵”技术；中型生活污水处理厂污泥稳定化处理工艺采用“好氧消化”或“好氧固态发酵”技术；大型生活污水处理厂污泥稳定化处理工艺采用“消化+干化+预留后续处理处置用地”技术。

工程建设布局：

在污泥处理处置工程建设方面，外围城镇污水处理厂结合旧厂升级达标改造和新污水处理厂建设，实施污泥稳定化处理和资源化处置工程。中心城区污水处理厂规划工程建设进度如下：

2005 年前：建成白龙港污泥专用卫生填埋场一座，强化其自然稳定过程、实现污泥的中转和临时应急填埋处置，研究后续开采技术；

2005 年前：前建设石洞口污泥干化焚烧厂；

2005 年前：结合现有污水处理厂升级达标改造，同步建成污泥稳定化处理工程；

2010 年前：建成竹园、白龙港“消化+干化”污泥稳定化处理厂

技术路线和关键技术

技术路线

关键技术

污泥浓缩：可采用重力浓缩和机械浓缩

厌氧消化：可采用中温厌氧消化

好氧消化：可采用中温或高温好氧消化

机械脱水：可采用离心机、带式压滤机、自动板框

好氧固态发酵：可采用翻堆式或塔式发酵仓

干化：可采用流化干燥、带式干燥、桨叶干燥、多级圆盘干燥

焚烧和烧结：可采用流化床焚烧炉、回转炉、喷射式焚烧炉等

建材利用：水泥辅料、轻质骨料、渗水砖等

填埋和混合填埋：单独卫生填埋和与城市生活垃圾混合填埋

园林绿化介质土：改良土壤、提供营养，必要时可根据植物种类的不同需求进行性质调理以获得更佳效果

垃圾填埋场覆盖土：做垃圾填埋场日覆盖材料和终期覆盖材料

滩涂盐碱地改良：提高腐殖质、改良土壤结构和 PH，提高土质营养。

配套措施

技术指南和规范标准

为保证污泥处理处置过程中的经济效益和环境效益，编制技术指南和规范标准并监督实施是配套措施的一个方面。其构成框架如下：

土地利用技术指南和污染控制标准：包括（1）园林绿化介质土（2）垃圾填埋场覆盖土（3）经济作物用肥（4）滩涂盐碱地改良土

污泥填埋技术指南和污染控制标准：包括（1）污泥专用填埋场填埋（2）垃圾填埋场混合填埋

污泥焚烧技术指南和污染控制标准：包括（1）干化焚烧（2）直接焚烧（3）联合焚烧

污泥建材利用技术指南和污染控制标准：包括（1）水泥辅料（2）陶粒烧结（3）渗水砖材

监测和记录：包括（1）监测方法和监测标准（2）监测频率及要求（3）记录频率及要求

污泥处理处置专项规划编制

根据上海市城市和社会发展规划、上海市污水专业规划，编制《上海市污泥处理处置专项规划》。

应用技术集成研究和工程可行性研究

组织科技攻关和应用研究，依据污泥处理处置专项规划，开展工程可行性研究。

管理政策建立和完善

为保障污泥专项规划的执行并发挥利用市场机制的作用，制定配套管理政策。其构成框架如下：

关于加强污泥管理的暂行管理办法

关于推进污泥资源化利用的若干政策

污泥运输暂行管理办法

污泥处理处置特许经营管理办法

污泥资源化市场机制建立

在政府的引导下，形成污泥资源化处置跨行业的市场化经营机制和市场化运作平台。

战略风险分析

为确保上海市污泥处理处置管理战略满足城市的可持续发展和科学发展。对上海市污泥处理处置管理战略进行风险评价（Risk Assessment）是非常必要的。风险评估，必须考虑以下因素：

政治因素：上海市国际大都市发展的政治需求

社会因素：以人为本的污泥处理处置体系

经济因素：与上海市经济发展水平相适应

环境因素：上海市生态城市、生态社区、水环境保护的需求

技术因素：针对技术的可靠性、实用性、可行性

其它

由于上海市污泥处理处置问题的复杂性，相关的研究工作尚未结束，因此本文中的观点难免有不足之处，敬请各位领导专家帮助指正。

参考资料

[1] 《上海市污泥处理处置专项规划》（讨论稿） 上海市水务局 上海市城市排水有限公司 上海市政工程设计研究院 同济大学 （2004 年 2 月）

[2] 《21 世纪中国城市水管理国际研讨会》研究报告与论文集 1999 年 9 月 北京

[3] 《中国土木工程学会水工业分会排水委员会第四届一次年会论文集》 2001 年 7 月天津

[4] 《2004 年城市水业战略研讨与技术交流会论文集》 2004 年 3 月 北京

[5] 《Process Design Manual- Land Application of Sewage Sludge and Domestic Septage》 U.S. EPA 1995

[6] 《Biosolids Generation, Use, and Disposal in The United States》 U.S. EPA 1999

生物固体管理：美国实例

Thomas E. Wilson¹ 中国北京

(地球泰科公司)

简介

本文对美国生物固体管理实例做简要的概况介绍。我们将述及到：

过去:倾倒是普遍现象

现在: 行为受美国国家环保局污泥条例(503 条例)引导, 主要采用回收综合利用的方法;

将来: 更多的回收综合利用方法

一些范例项目,包括 NYC 的处置方法

过去: 污泥倾倒

在 1992 年以前, 处理污泥的重点在于尽可能的便宜。在很多工厂, 这意味着采用厌氧污泥消化法 (或者好氧, 通常在小工厂), 并且尽量便宜的处理废污泥, 通过以下方式:

掩埋 - 主要是混有市政垃圾的卫生填埋

氧化塘-通常在工厂区, 并且通常很臭

海洋处置- 一个常见的选择, 尤其对于大型的沿海城市, 如纽约、费城和波士顿。

通过美国环保局近期的努力, 土地利用方法的选用频率不断增加, 海洋处置法在 1988 年后几乎完全被淘汰。焚烧法主要局限于美国东北部地区和中西部的一些装置。

条例

美国环保局实施了生物固体利用和处置的综合条例。条例隶属清洁水法体系下, 其最终格式公布在1993年2月联邦登记册中。最后的条款被称为第503部分生物固体条例。条例制定的标准适用于用于土地经济利用的生物固体, 或施用于表面处置场所或送生物固体焚烧炉燃烧处置的生物固体。

第503部分条例中的标准包括总要求, 污染物限制、管理条款、操作标准、监测频率要求、记录留存、报告。当生物固体应用于土地或者施用于表面处置场所时, 某些要求必须满足, 以减少生物体(病原体)导致的疾病。这要根据B等生物固体中E型大肠杆菌或沙门氏菌的水平, 以及A等生物固体中寄生虫和病毒的水平。另外, 当生物固体应用于土地或者施用于表面处置场所时, 标准还要求削减传病媒介物。这包括控制那些可以吸引疾病传播的带菌者, 如苍蝇, 老鼠和鸟类的生物固体特性。

条例针对使用和处置生物固体, 制定了10种污染物的明确的数量限制, 以及一个生物固体焚烧炉总烃排放的操作标准。10个控制的金属是砷、镉、铬、铜、铅、汞、钼、镍、硒和锌。

¹ 生物固体技术项目部主任; 地球泰科公司, Oak Brook ,IL ; tom.wilson@earthtech.com

另外，很多州还要求遵循其他标准。大多是针对生物固体的最终回用、消化气体处理、或其他辅助系统的设计要求。在美国，空气污染标准会影响消化气体的处理和使用。

与本文配套的PPT演示文件中有更多的信息。条例的摘要可以通过美国国家环保局和国家生物固体伙伴网获得。

(<http://www.epa.gov/OWM/mtb/biosolids/503pe/index.htm> or <http://biosolids.policy.net>) 现在- 综合利用

现在，处理后的污泥被成为生物固体，以更好的反映出处理后的物质已经满足了某些标准要求。最普遍应用的生物固体管理方法是生物固体土地利用。这包括以下应用：

稳定化液体：典型的是含有 1.5 – 4%的总悬浮物（TS）的厌氧和好氧消化污泥，它们通常是 B 等生物固体，（见条例部分），但是在某些州，如加利福尼亚，通常更典型的是 A 等生物固体。

稳定化饼状物：典型的是含有 18 – 30%的总悬浮物（TS）的厌氧和好氧消化污泥，它们通常是 B 等生物固体，（见条例部分），但是在某些州，如加利福尼亚，通常更典型的是 A 等生物固体。碱稳定化污泥也是很常见的（尤其是中间状态），但是正在减少。这个过程能够产生 A 等或 B 等生物污泥—基于它如何操作。

粒状物：热干燥污泥，通常，但不是一直，是一级厌氧消化产物。根据 503 条例的定义，它们是 A 等生物固体。它们通常装袋和/或散装用作肥料(如活性淤泥肥料)，或作为更有肥效的肥料的原料。这种方法在东部沿海城市正得到普遍应用，包括波士顿、纽约和巴尔的摩。

掩埋在一些国家仍然盛行。通常掩埋的是消化污泥，但某些情况下，尤其在新英格兰，未处理泥饼也掩埋处理。焚烧法在东北地区仍然盛行，但是一些大的设施，包括 Arlington VA，为了利于经济回收，已经强制禁止使用焚烧法了。

将来

一些趋势正显现出来。综合利用将扩大，将来将有：

更多的能量回收和更多的固体减量：这很大程度上取决于当前的厌氧消化技术，通过多种预处理技术得到增强，如酸水解、热水解和超音速水解。

A 等生物固体：成为典范。现在生物固体主要是 B 等，但已经有些州，如加利福尼亚，正开始推动 A 等。热干燥/造粒也将在大城市逐渐流行起来。

与筛选地工业废物和垃圾混合：通过它们加入厌氧消化器中的市政污泥内，可以回收更多的能量，并且可以减少固废量。

高消化率：15 年前，消化器停留时间平均 30 天以上，可以获得约 45%的 VVS 污泥破坏率。今天，停留时间小于 20 天，我们就可以获得 50%以上的 VVS 污泥破坏率。将来，停留时间小于 10 天，我们可以期望获得 65%以上的 VVS 污泥破坏率。

高温厌氧消化：这将成为获得 A 等生物固体的通常途径。在 2000 年，只有一个成功的高温厌氧消化系统，建在北美，生产美国环保局认可的 A 等生物固体。在 2004 年，有至少 4 套这样的装置，并且有多于 12 个能够象系统一样运行的项目正在设计中。

生物固体项目

一些典型项目:

范库弗峰 (北美) Vancouver

多级高温厌氧消化系统

巴尔的摩 Baltimore

A/G 厌氧消化

华盛顿 Washington DC

TPAD 厌氧消化

造粒将来?

北岸卫生区 North Shore Sanitary District (Lake County, IL)

玻璃化

沃特卢爱荷华州 Waterloo Iowa

TPAD 厌氧消化

内陆王国公用设施权威(CA)

3 段厌氧消化

Plover WI

自热中温厌氧消化

Elmhurst IL

A / G 序批式厌氧消化

苏格兰阿伯丁

热水解 / 厌氧消化

爱尔兰都柏林

热水解 / 厌氧消化

洛山机亥伯龙

一段高温厌氧消化

纽约 DEP 方法---技术 & 地理多样化²

本段说明了美国最大城市如何建立了“事故保险”的方法来管理其生物固体。在纽约有 14 个污水处理厂。所有固体都厌氧消化到 B 等。有 8 个脱水设施, 将所有污泥脱水至约 20% 的总悬浮物量。消化污泥送至 (主要通过船运) 8 个场地。

其长远规划(7/98 - 7/2013)包括:

约 19 % 的生物固体用于德克萨斯州的土地@每吨\$120 (湿重)

约 42 % 的生物固体用于造粒@每吨\$119.8

约 19 % 的生物固体用于 VA & Co 的农作物@每吨\$99.74 (湿重)

约 12 % 的生物固体用于堆肥& 用在华盛顿的土壤改良剂的设施中@每吨\$88.21 (湿重) (初期 \$ 162 t/d) & 其余的\$104.91

约 12 % 的生物固体在新泽西、阿肯色州和宾夕法尼亚, 用于碱处理, 造粒和堆肥@每吨\$83.74 (湿重)

以上每一项都由一个不同的独立的承包商提供。另外, 每个承包商都有义务可以提高其产量至合同的规定值, 以提供与其它供应商之间, 有关技术或地理问题的适应度。

²来源: Quinn et al “纽约城市生物固体经验” VWEA 教育研讨会 2000 年 9 月

深圳特区污泥处理处置的探索与建议

黄凌军 杜红 杨锦
(深圳水务(集团)有限公司)

摘要: 本文就深圳经济特区污泥处理处置工作的现状及面临的问题、实践及对策进行总结, 对污泥处理处置的目标和政策导向进行了探讨。

关键词: 污泥 污泥处理处置 干化焚烧

一、引言

近年来, 随着国家经济和社会的发展, 环境污染日益严重, 人们已经认识到树立科学发展观的重要性, 人与自然必须协调发展。作为水环境治理的重要组成部份——城市污水处理得到政府和社会各界的高度重视, 近年来, 新的污水厂不断建设, 污水处理率大幅提高。污泥是污水处理的副产物, 一直以来未得到足够重视, 其最终处置问题已突现出来。在深圳特区, 污水处理率已达到 70% 以上, 污泥能否得到及时而适当的处理与处置, 已成为影响污水处理厂正常运行、是否从根本上产生环境效益的重要因素。全面了解污泥处理处置技术及深圳特区污泥处理处置的现状与问题, 力求提出适合的对策, 是近期污泥处置工作的重点。

二、现状及问题

深圳水务集团主要从事深圳经济特区内的自来水生产和供应、污水收集和处理, 属下四座污水处理厂, 现有处理能力为 115 万吨/日, 目前日平均处理量约为 80 万吨, 近三年来的污泥量见表 1, 污泥成份见表 2。

表 1 污水处理量与污泥量

	2002	2003	2004 (1-4 月)
污水处理量 (万吨/日)	66	81	79
污泥量 (吨/日)	273	330	345

污泥全部运往深圳特区下坪垃圾填埋场卫生填埋, 卫生填埋虽然有投资少, 运行费低、操作简单等优点, 但随着污泥的增加, 其产生的问题日益突出。由于污泥含有大量的病原体、难降解有机物、重金属等有毒有害物质, 易造成二次污泥; 含水率达 78% 的污泥在堆放后产生大量的渗滤液, 含有细小颗粒, 造成渗滤液收集系统堵塞, 加重渗滤液收集处理系统与市政污水处理系统的负荷; 由于污泥流动性, 大量污泥直接堆积使得填埋作业面形成沼泽状, 导致作业车深陷其中, 为解决这一问题, 采取了污泥打包堆放的方法, 但又带来了新的问题, 如整体滑坡、影响沼气收集系统等, 存在生产安全隐患; 占地大是深圳特区污泥填埋的最大问题, 目前, 每日污泥量占总

填埋量约 15%，污泥填埋对填埋场库容使用率的影响达 20%（附加设档土坝、生活垃圾不能压实等因素），库容压力极大。大量的污泥给卫生填埋场的有限库容、填埋作业及渗滤液收集系统、沼气收集系统带来了压力与问题，并可能造成二次污染，对于深圳特区而言，卫生填埋已越来越显现出其不可持续性。

表 2 污水处理厂污泥成份范围表

项目	有机质含量%	细菌总数个/g	矿物油 mg/kg	铜 mg/kg	锌 mg/kg	铅 mg/kg	铬 mg/kg	镍 mg/kg	汞 mg/kg	总钾 mg/kg	总氮 mg/kg	总磷 mg/kg
罗芳	29.3~ 51.5	$1.8 \times 10^8 \sim$ 4.0×10^{11}	$1.25 \times 10^3 \sim$ 2.78×10^3	145~ 2.29 $\times 10^3$	85.6~ 1.16×10^3	8.67~ 167	31.8~ 2.23×10^3	53.2~ 133	3.09	$1.09 \times 10^4 \sim$ 1.69×10^4	$2.30 \times 10^4 \sim$ 3.17×10^4	$1.78 \times 10^4 \sim$ 1.49×10^5
滨河	37.6~ 69.5	$4.8 \times 10^7 \sim$ 1.6×10^{10}	$1.51 \times 10^3 \sim$ 4.02×10^3	144~ 1.90 $\times 10^3$	46.5~ 1.26×10^3	40.7~ 2.23×10^2	91.95~ 246	44.4~ 301	3.63	$6.13 \times 10^3 \sim$ 2.06×10^4	$1.29 \times 10^4 \sim$ 5.12×10^4	$1.36 \times 10^4 \sim$ 1.01×10^5
南山	34.6~ 58.7	$1.7 \times 10^7 \sim$ 1.1×10^{11}	$1.58 \times 10^3 \sim$ 6.37×10^3	162~ 3.48 $\times 10^3$	126~ 1.36×10^3	58.1~ 190	117.3~ 600	63.2~ 787	6.24	$8.93 \times 10^3 \sim$ 8.79×10^4	$2.40 \times 10^4 \sim$ 3.02×10^4	$1.18 \times 10^4 \sim$ 8.23×10^4
盐田	28.7~ 64.6	$2.9 \times 10^8 \sim$ 6.0×10^{11}	$1.37 \times 10^3 \sim$ 5.67×10^3	285~ 2.32 $\times 10^3$	628~ 1.19×10^3	96.9~ 176	375~ 2.26×10^3	50.6~ 150	4.91	$7.61 \times 10^3 \sim$ 1.87×10^4	$2.51 \times 10^4 \sim$ 5.54×10^4	$1.87 \times 10^4 \sim$ 1.1×10^5
农用标准	/	/	3000	1500	3000	1000	1000	200	15		/	/

三、污泥处理处置方式的研究与实践

1、采用堆肥技术制作污泥复合有机肥的实践

从表 2 可见，滨河厂与罗芳厂的污泥成份较适于农用，部份超标成份经处理后可以达到农用标准，因此，我们尝试污泥制肥的可能性。经考察研究后，与某肥料公司签订合同，由污水处理厂提供污泥，该公司采用堆肥技术生产栽培土、有机复合肥等，而合同的实际执行情况是：污水处理厂的污泥输出持续了一个月就停止，这一次的合作以解约方式结束。2001 年，另一公司提出了污泥制作有机肥的计划，并进行了生产性的试验，2002 年该公司与我司就合作实施该计划进行了认真研究与磋商，考虑到污泥农用的市场容量与污泥量的矛盾、污泥的持续产出与肥料的季节性需要的矛盾、污泥量的增加趋势与污泥的潜在环境安全风险等因素，在生产操作方面，辅料供应、滤渗液污染、用地等问题也没有可靠经济的解决方案，该项目最终因可操作性差、难以解决

污泥的最终出路而没有实施。以上表明，虽然污泥堆肥技术可以实现污泥的资源化利用，也有资料表明，在一些地方得到生产应用并取得很好的环境与经济效益，但不适合深圳的实际情况，深圳特区土地资源紧张，周边地区工业化程度高，缺少稳定的农用或其它用途的用户，污泥有机肥受到限制。

2、污泥干化可行性研究

2002 年，由深圳市城市管理办公室、深圳市水务（集团）有限公司、深圳市排水管理处和中国市政工程西南设计研究院共同完成了《深圳特区污泥处置规划》及《深圳特区污泥干化工程可行性研究报告》。《深圳特区污泥处置规划》提出了“以综合利用为主，焚烧为辅，卫生填埋配套”的污泥综合处置思路和“分散处理”的选址方案，《深圳特区污泥干化工程可行性研究报告》推荐热干化作为近期污泥处理的实施方案。该方案基本体现了污泥处理处置的“减量化、稳定化、无害化、资源化”的原则，具有直接加热和直接成粒、操作管理简易等特点。为了对热干化后的污泥性质及其使用范围取得必要的资料，我们对国内外的污泥处理处置技术与应用进行了进一步的调查与研究。

研究表明，热干化处理污泥存在下列问题：

- ① 污泥干化产品作为肥料推向市场，易产生二次污染，对环境安全有潜在的威胁。
- ② 深圳特区的污泥未经消化，其干化产品作为肥料，肥效还有待研究。高有机含量的污泥用于追肥，会导致烧苗现象。
- ③ 市场前景不乐观。深圳特区的产业结构和经济发展与污泥制肥农用发展方向不符。通过调研，在深圳特区，污泥制肥的主要应用方向是用于绿化，无论是作为有机肥施用于高尔夫球场的草皮、市政道路两旁、河道、山体护坡的绿化，还是用于拟关闭石坑生态恢复绿化、石壁绿化和自然山地的植被的生态恢复，其污泥需求量都非常有限，并且有些应用对污泥产品质量有很严格的要求。
- ④ 污泥热干化需要大量的热量，使用天然气或油做燃料量非常大，不经济。
- ⑤ 目前，我国污泥农用的政策法规还在完善之中，污泥热干化后农用具有一定的政策风险。

经过调查和研究，我们认为污泥热干化还存在许多待研究和解决的问题，若将每天正常生产所产生的连续不断污泥处置归于不确定、不稳定的污泥肥料市场，将会因出路不畅而影响设施的长期正常运行，是不科学的，也是不安全的，不能满足深圳市可持续发展的需要和城市环保要求。

3、污泥干化焚烧技术研究

焚烧是利用高温氧化作用将有机物转化为无机物的过程，可使污泥达到最大程度的减量。焚烧过程中，所有的病菌病原体被彻底杀灭，有毒有害的有机残余物被热氧化分解。灰份可填埋或用作生产水泥等建材的原料，重金属被固定在混凝土中，避免其重新进入环境。

污泥焚烧是否需要外加燃料，取决于污泥的低位热值。四个污水厂污泥低位热值表明，当污泥干化到含水率为 50% 以上时就可以不需辅助燃料而自持焚烧。焚烧释放的热量可回收用于污泥干化，经测算，四个污水厂的污泥基本可达到热能的自供自给。

焚烧系统是一个复杂的热处理系统，包括有污泥输送设施、干化设备、焚烧炉、烟气处理设施与热量回收利用设施等。焚烧炉是污泥设施，配套处理设施有三部份，一是污泥干化设施，对湿污泥进行干化处理，以便使污泥能够自燃，从而减少辅助燃料的消耗量，降低运行成本；二是烟气净化设施，对尾气进行处理，以便达到规定的排放标准；三是热量回收利用系统，对焚烧所释放的热量进行回收利用。目前，污泥的焚烧技术在欧洲与日本得到大量使用，技术成熟，系统整合性能可靠。以规模 30 吨 DS/日的工程进行成本测算比较（见表 3），干化焚烧相对与干化，运行成本要低而投资成本高，全成本还是低于干化。

	卫生填埋	干化	干化焚烧
运行成本	325	1120	767
全成本	435	1343	1156

污泥焚烧的优点是：适应性较强，反应时间短，占地小，残渣稳定而量少，达到了最大减量、资源利用、稳定与完全灭菌的目的。其缺点是：工艺较复杂、一次性投资大、设备数量多、运行管理要求高。对于深圳这样一个土地资源紧缺、社会经济相对发达、污水处理率较高的城市来说，焚烧技术适合城市发展的需要，可以基本解决特区内污泥无出路现状，实现污泥安全处置，有效防止二次污染。

四、结论与建议

深圳作为一个土地资源紧缺而社会经济水平较发达的地区，目前又面临严重的水污染问题，污泥集中干化焚烧技术无疑是解决污泥出路的理想路线，相信在经济条件许可、污泥产量大的地区，都有一定的推广意义。当然，我国幅员辽阔，社会经济发达的地区差别大，土地资源状况各异，污泥处理处置技术的选择应兼顾环境生态效益与经济发展水平，适合本地具体情况的方法应该是技术安全可靠、能够长期稳定运行、符合可持续性发展原则。

目前，很多的城市污泥还处于无序弃置的状态，相信未来的很长一段时期内，卫生填埋与土地利用将是我国污泥处理处置的主要方式。污泥含有丰富的养分，不仅能增加土壤氮、磷、钾养分，还能改善土壤的板结、碱化等性状，我国作为一个发展中的国家，又是一个农业大国，因此，从经济与资源利用角度考虑，污泥的土地利用特别是农用不失为一种符合我国国情的方式。但是，我们必须了解污泥不仅是可利用的资源，也含有大量的病原体、重金属以及有毒有害的难降解的

有机物等，虽然受检测手段与认知水平的限制，我们还不能完全了解污泥中的有毒有害物质及其对生态环境的影响，但可以肯定，不经必要地处理、不加以控制地土地利用势必造成土地、地下水的污染问题，同样，污泥填埋场没有系统安全防护设施而进行污泥填埋也将带来严重的环境污染。因此，我们建议要充分考虑到污泥的污染性，视污泥处理处置为污水处理不可或缺的一个关键环节，污水处理成本中应包含合理的污泥处理成本；同时，尽快制定污泥处理处置的技术指引，制定有关污泥的土地利用与农用、填埋等处置方式应用的法规政策，防止二次污染和污染的无序转移与扩散，保证污泥的安全处理与处置。

通过特许经营模式选用先进的污泥处理技术 -- 斯提克尼污水处理厂污泥热处理项目简介

Tania Van Loon(达尼亚)¹, 李疆南², Dirk Eeraerts³

¹ Seghers Keppel Technology Group N.V.,
Hoofd, 1 B-2830 Willebroek, Belgium
Tel:+32.3.880.77.00 Fax: +32.3.880.77.49
<http://www.segherskeppel.com>

E-mail: Tania_Van_Loon@segherskeppel.com

²西格斯环境工程科技(上海)有限公司

<http://www.segherskeppel.com>

电话: +86 21 6249 9556 传真: +86 21 6249 0506

E-mail: Jiangnan_Li@segherskeppel.com

³ SEGHERS Keppel Technology Inc

1235 F Kennestone Circle, Marietta, Georgia 30066, USA

Tel: 770 421 1181, Fax: 770 421 8611

E-mail: Dirk_Eeraerts@segherskeppel.com

摘要

大芝加哥市政污水处理管理局(MWRD)下属的斯提克尼污水处理厂(Stickney Water Reclamation Plant)是处理能力为 $4.54 \times 10^6 \text{m}^3/\text{d}$ 的二级污水处理厂,服务面积 4.11×10^5 公顷,服务人口550万人。每年产生的污泥量为140,000干吨(127000吨干固)。污泥经自然干燥,细菌指标符合要求,主要是资源化利用:用于农业和林业,土壤改良和补充,以及市政垃圾填埋场的每日和最终覆土。

MWRD近期的污泥处理方式主要是厌氧消化、离心分离/浓缩、自然干燥。离心分离和自然干燥均受到气候条件的限制,尤其是在冬季,因此决定用不受天气影响的机械处理方法处理一部分污泥,这样将会增加现有设施的灵活性,并降低现有处理方式的费用。在新的处理厂建成之前,现有处理方式的费用还会有所增加。不受天气影响的处理技术还可以减少冬季将污泥从离心设备运送至自然干化床时遇到的问题。

为了能够使用一些先进的污泥处理工艺和设备,MWRD采用了20年合同期的D/B/O/O/F(设计/建造/拥有/运行/投资)模式。

这篇文章对欧洲和北美的污泥处理/处置标准做了小结,并且较为详细的记述了芝加哥污泥处理方案的选择、投标过程和最终价格等信息。

关键词

污泥 干燥机 颗粒 肥料 土壤改良剂 标准 机械脱水 造粒 特许经营

城市污水处理厂污泥资源化产业发展的若干政策问题

李 波 唐建国

(沃土集团) (上海市排水管理处)

[摘要] 随着我国城市污水处理率的提高,伴生而来的污泥无害化问题日益严重,污泥环保产业呼之欲出。污泥是城市发展的产物,其处理处置是区域生态平衡的重要一环。无论是“逃避污泥”还是“消灭污泥”,在理论和实践上不利于社会的可持续发展。坚持把污泥资源化放在首位,是为了最终彻底解决污泥的处置(出路)问题。确立与坚持资源化发展的方针和配套的产业发展政策,有利于循环经济的发展与落实科学的发展观。作者长期从事污泥资源化技术与政策研究,本文是从其合著的《污泥宣言》一书中摘录的部分章节,补充加工而成。

前 言

污泥的安全、卫生、无害化体现了人与自然的协调。人源于土,终于土。人类生存的基本自然条件是淡水与土壤,污泥是城市发展的产物,却异化为“城市环境新隐患”。

污泥处理处置的不完整,表现出人类的幼稚与自私,在我国则表现为环境产权的缺失。如果说“非典”是中国融入现代文明进程的挫折与代价,那么,禽流感就不仅仅是“杀鸡给猴看”,而且警示人类生存环境的脆弱。“戴口罩的春天”结结实实封住了国人太好吃的嘴:这一切将在很大程度上影响与改变我们的生活。

“泥水并重”是城市成熟的标志,是人类睿智的体现,是污泥产业的发端,至少是一种负责任的态度。就此,看谁在这条道路上跑得最远:污泥的资源化是最有生命力的,因为脚下的土壤贫瘠、人口众多、经济欠发达,粮食安全、环境安全均具有战略产业的意义。

“污泥浓缩、脱水—外运(填埋)”不仅是写在设计文件中的“经典”语言,也是污水处理厂实际污泥处理的“习惯”做法,本质上是被动地“逃避”污泥;另外一个极端是不顾实际情况和经济承受能力一味追求“消灭污泥”:填埋和焚烧——发达国家已经限制和淘汰的处置手段。无论是

“逃避”还是“消灭”在理论上是片面的，在实践中是有害的，我国制定污泥产业化技术政策一定要保持清醒的认识。

“逃避”和“消灭”都是不负责任的，资源化的选择是明智的。资源化处置是以资源化利用为目标的一种安全、有效、经济的处置方式，在实现污泥无害处置的同时，还有利于保持生态平衡，降低处置成本，促进循环经济的发展。

化腐朽为神奇，变污泥为沃土：靠勇气，凭良知。技术。政策。资金。

开辟一个市场，导引一片产业。人总是要做些事情的。尤其是做好事，做善事。对得起这份俸禄，对得起这片环境，对得起母亲。

像爱戴母亲一样爱戴这片沃土。

一、对污泥的哲学思考

1.1 环境与发展

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,微生物及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。按含有的主要成分的不同,污泥可分为有机污泥和无机污泥两大类。城市污水净化厂是城市发展的产物,是人类聚集的结果。污泥也是如此。农耕文明的“肥水不落他人田”不会带来污泥的处理处置之类的社会问题,也不会导致区域有机质的缺失。大工业革命积聚的城市生活群体排泄物具有“规模化”特征,污水、污泥、垃圾处理成为城市经济的派生物,直至演变为“城市环境新隐患”。远离农田的污泥失去了其作为肥料的自然属性和经济价值。

城市生活污水、污泥、垃圾是大工业的产物,是城市发展过程的衍生物,是城市生态环境的重要组成部分。阿根廷·世界环境与发展大会通过的《布宜诺斯艾利斯宣言》警示人类的生存必须建立在环境与发展协调的基础上,即发展要注意保护环境,发展不能以损害环境为代价。2003年的 SARS 和超速增长的 GDP 像一对孪生兄弟缠绕着中华儿女的双足;树立与落实科学的发展观关系到中华民族的存亡。与时俱进的共产党人痛定思痛,确立以人为本,坚持与促进全面、协调、可持续发展的科学发展观。

用生态理论与科学发展观反思我国固体废弃物处理处置的基本方针：稳定化、减量化、无害化，不难看出，认知固废的角度和相应采取的策略存在着较大的偏差。尽管可能与我国目前的经济发展水平相适应，但总体判断是消极的，把经济发展与环境保护对立起来作为一个国家的产业政策甚至是有害的。对城市污水污泥来讲，“减量化”与“稳定化”是手段，“无害化”是其直接目的。手段的失效，目的就无从谈起。考证厌氧消化—填埋、热干化—焚烧等常规的处理处置方式，其处理过程及剩余物处置无法实现污泥的最终无害化处置。

因此，资源化是污泥最彻底、最安全、最经济的处置方式。

1.2 资源化的意义

人类是生态系统的一员，既不可能违背生态系统规律，也不可能脱离生态系统而生存。循环经济理论表达了人类对自然与自身的深刻反省——人是自然·生物圈的一部分，不是万能的上帝。人与其他生物一样依存于自然，生生不息，循环往复。人类对许多重要资源的使用和浪费以及污染物的产生都已经超过了可持续的比率。按照生态理论的观点，污泥是生物圈有机质链条的重要组成部分，长时期缺失（焚烧、填埋）将导致区域生态的失衡。《污水污泥使用或处置的标准》（美国联邦法规总则中的第 40 项），于 1993 年 3 月 22 日实施。首次将污泥定义为“生物固体”：生物固体是污水处理后产生的一种可以有益回收再利用的初级有机固体产品。随着人们生活水平的提高，污染总量的加大，对环境标准的要求将会越来越严格，从而使治污成本迅速上升，进而加大能耗，增加环境和社会负担。我们必须考虑到社会总支出和环境保护的协调，以及社会和环境的承受能力。不能一方面不计成本追求污泥处理处置的“绝对安全”，另一方面由于能耗的加大与成本的上升造成新的消耗性污染。

可持续发展的社会在技术和经济上都是可能的。资源化是处理处置过程的统一，处理是为了利用，结果决定过程。因此，资源化真正实现了污泥的无害化处置。把资源化放在首位的观点是人类对自然本质的感知。坚持资源化为方针，促进循环经济建设，维护区域生态平衡，本着节俭、安全、环境、资源的方针，选择市场化、产业化发展道路，以科学、公平、持久的态度对待污泥的处理处置。

1.3 坚持与落实科学的发展观

生态产业革命与发展立足于自然、社会、经济的全面协调发展与进步，统筹兼顾，保持人与

自然的生态平衡，把坚持以人为本和实现经济社会全面、协调、可持续发展统一起来。科学发展观的实质是要抓住和用好战略机遇期，既不能盲目自大重蹈发达国家的覆辙，也不能跟在别人后面亦步亦趋。科学发展观进一步指明了新世纪新阶段我国现代化建设的发展道路、发展模式和发展战略，进一步明确了中国要发展、为什么发展和怎样发展的重大问题，是全面建设小康社会和实现现代化的根本指导方针。

把污泥的无害化处理处置上升到牢固树立和树立科学发展观的高度，按照循环经济的观点自觉把污泥的处理处置与生态平衡结合起来，避免重复和浪费。

二、 环境产权

环境问题的重要特点，在于其“外部不经济性”。环境产权的非人格化是污泥处理处置的制度设计缺陷和政策制定的滞后。我们无法设想把污泥排入某家产权明晰的鱼塘或水域，但却可以公然的或者是睁一只眼闭一只眼排入河流、湖泊、海洋等公共水域。《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)已明确规定了污泥排放标准，与此同时颁布的《排污费征收使用管理条例》(2003-1-18)将排污收费由原来的超标收费改为排污即收费与超标收费并行，将超标单因子收费改为总量多因子收费。但由于污水处理厂的事业单位属性与环保执法机构的非独立性而缺乏行使环境产权的刚性约束，仍旧摆脱不了先污染后治理、前面治理后面污染的恶性循环。污泥处理处置的失效不仅是污水处理厂全部功能实现的问题，而且作为城市水资源与水环境的结点其整体功能也将随之失效，甚至污泥对地表水和地下水的污染会造成更为严重的环境灾害。城市公用设施管理体制和混合所有制经济的发展将逐步完善环境产权的管理体制，配套产业政策，提高环境产权意识，促进社会全面、协调、可持续发展。

环境保护与政治文明关系密切，由于生态与政治的紧密关联，更由于全球生态危机导致适应人类生存的空间日益缩小，人类的生存和发展日益受到威胁，人们产生了强烈的协调人与自然以及人与人之间关系的理念，促使环境问题日趋政治化。物质文明、社会文明、政治文明和环境文明的协调发展与建设，有赖于民主社会的进步，有赖于公众环境产权意识的觉醒。环保产业是政策引导性产业，需要专家、企业家与政治家及社会公众的共同努力，特别是后者的积极参与是十分重要的。公众的介入和政治参与对于解决环境问题具有重要的作用：有助于激发公众政治参与的责任感和积极性，壮大环境保护的社会力量；有助于让更多的在有关活动中无经济利益的人参与决策，避免既得利益集团按照经济标准制定环境政策而损害环保的缺陷，让决策朝着更为科学、合理的方向发展；有助于对政府的监督，制止政府从自身利益出发做出短期行为，制定不恰当的

政策；有助于社会以和平方式解决生态环境危机。“自扫各自门前雪，莫管他人瓦上霜”的小农经济意识显然比起地球村民地胸怀狭隘得多。

2.1 市场功效失灵

污泥资源化产业的发展在很大程度上取决于其资源化产品的最终出路。不能把政府引导、市场化运作片面理解为由市场承担资源化产品的最终处置和出路的全部责任，而应当是政策与市场共同努力的结果。政府负有政策引导和制度设计的责任。一般讲，企业市场经营目标与政府环境保护要求存在着现实冲突，政府除了通过法规与契约来限制企业可能对环境的损害性排放，但仍然不能绝对避免企业为了追求利润而做出损害环境的行为，例如，全国比比皆是的污泥掩耳盗铃的“外运”等等，在制度设计层面只有基本满足经营者的合理利润需求的法律规范才是有意义的。市场本身没有为环境保护提供强有力的制度保证。因此，单纯依靠市场机制确定产品价格只能反映边际私人成本而不能反映边际社会成本，不能实现资源的优化配置。国家必须采取适当的经济政策对生产活动进行干预，结合经济活动中的环境外部效应，确定恰当的边际社会成本，减小乃至消除边际私人成本与边际社会成本之间的差距。我们要把污泥资源化产品的最终处置纳入政策法规和利益调节机制，而绝非是单纯就污泥补贴的讨价还价，最终伤害的仍然是环境和社会公众利益。

生物固体资源化的事实不能完全代替无害化处置的可能。事实与可能之间的差距是由于污泥有害物质及肥料市场的不确定性及污泥资源化的比例受到客观因素限制所造成的。例如：由于污泥一定时期的有害成分超标，不适于资源化；又由于肥料销售的季节性以及市场变化等等，都会影响污泥的资源化效果。因此，百分之百资源化的提法是不科学的，以强调市场化而推卸政府的职能是不负责的。要从政策导向与制度设计层面解决资源化产品的出路问题。

以产品销路来简单判断资源化的有效性的观念应当改变。资源化的首要目的是固体废弃物处理，政府的政策导向与制度设计要符合这样一个需求。国内外都是如此。资源化产品要以政府购买为主，指令性把资源化产品与城市绿化结合起来，与城市建设结合起来，与生态恢复结合起来。资源化与经济效益要以无害化为前提，其处理结果不一定仅仅以肥料产品的方式销售，至少可以实现卫生填埋（减量、稳定）。山西沃土生物有限公司把污泥资源化概括为三个方面：**农业利用、土地利用和建筑材料**，努力实现资源化基础上污泥环境的零排放。

2.2 《503 法案》的启示

美国《503 法案》将污泥肥料产品分为 A 类与 B 类两种，前者是经深加工包装后出售的商品肥料，按不同季节一般市场售价为 20 美元~60 美元/吨，折合人民币最高不过 500 元/吨，相当于沃土田园的价格；后者经稳定化处理后（含水率 80%）喷射到农田，增加土壤有机质。由于美国排污费标准较高（一般与供水价格相等，甚至高于自来水费，特别是大城市）和法律保障、税收减免政策以及规模化经营，污水处理厂稳定化处理后的污泥由专业化公司加工处置。美国农业有健全的休耕、轮作制度和直接补贴制度，分期分片施用不会造成农田的砂砾化与有害成分富集，达到生物固体资源化的目的。低价格或免费施用反映出土壤消纳及资源化的利益调节机制。资源化产品低廉的价格与稳定的补贴来源，以及由此形成的价格调节机制可以切实保障污泥能够得到及时有效的最终处置：①随季节调整市场售价；②价格低廉；③免费使用。从而切实保障污泥的无害化处置。

意大利法律规定污水处理厂要妥善处置污泥，其处置费按规定的污水处理费以单独形式收取；污泥（生物固体）的资源化由专业化公司承担，市场化运作，政府给予补贴与税收优惠。日本明确规定资源化产品的市场引导政策，用污泥制成的地砖价格同等的条件下政府指令性采购与使用。

西班牙垃圾堆肥产品的市场销售价格也不过是 3 个欧元，按现行汇率计算仅为 30 元人民币；我国同类产品的市场售价一般都在 200 元左右，而我国劳动力价格大都是欧洲国家的二十到三十分之一。价格扭曲反映出制度设计的不合理和政策导向的偏差。

2.2 政府干预失灵

政府干预是对环境保护的市场失灵的校正，优势市场在政府干预下充分发挥保护环境的作用。但是，计划经济体制下的市政公用事业管理体制常常会干预失灵，或是在公用环境的情况下政府功能失效。在环保实践中，市场可解决的问题应尽量交由市场去解决。只有当市场机制不健全、环境资源产权不明晰、外部性和公共环境难于排解时，才应该由政府干预。通过特许经营制度，签订《市政公用设施特许经营合同》明确政府与企业之间的权利和义务，以契约的方式规范各自的行为，应当是保持政府和市场干预行为平衡有效方式。

政府行使环境产权必然以零排放为最高目标，制定与落实各项相关政策，推动污泥资源化产业的发展，发挥政府的服务与监督职能。政府为提高公用事业的效率和服务质量，保障公众利益

及特许经营者的合法权益，促进公用事业发展，由政府授予企业在一定时间和范围对某项市政公用产品或服务进行经营的权利，即特许经营权。政府通过合同协议或其他方式明确政府与获得特许经营权的企业之间的权利和义务。政府在资源产品利用上要给予支持与引导,鼓励使用。资金要保障。垃圾、污泥处理的责任是政府的，讲市场化，是利用市场机制提高效率。垃圾、污泥的出路不单是市场的选择,而是政策扶持与市场配置互动的结果。

三、 污泥属性分析

污泥是社会化产物，它包括：自然、经济和社会三大属性。污泥的属性由于处理处置方式不同常常是相互冲突的：污泥的自然属性衍生的生物固体概念表达了资源化意义，但不等于说由于其可循环利用的自然生物特性则可以掩盖或抹煞其固体废弃物的社会属性，更不能由此免除或减少处理处置所发生的费用，其基本经济属性并没有随之而改变。污泥的社会属性约束了其自然属性以及经济属性的实现，厌氧消化—填埋、热干化—焚烧处理处置的污泥其自然属性完全被掩盖，经济价值为零，但满足了其社会属性的实现，“消灭污泥论”就是以此为依据的。好氧堆肥—资源化工工艺前者体现了污泥的社会属性，后者则是污泥自然属性的表达，由此而满足其经济属性的要求。社会属性与自然属性的统一体现了污泥循环利用的经济价值。

3.1 社会属性

污泥是经济社会发展到一定阶段的产物。城市发展早期是为了满足人类生存安全的需要，逐步演变为经济、文化、政治的中心，以至产生了必须依赖工业化处理的自然社会问题。人类积聚生活排泄物的处理处置是现代文明进步的不可避免的代价，由此衍生出污泥的稳定化、减量化、无害化。人类是生态的有机组成部分，是一种具有社会意义的生物物种，其生存的输入和输出不仅要保持自身平衡，同时必须与生态环境平衡。对人的正常生活来讲，餐馆与厕所是同等重要的。污泥的社会属性决定了社会环境对污泥是排斥的，将其定义为“固体废弃物”。与此相对应所采取的处理处置手段便以消除为目的，彻底消除最好。于是，焚烧、填埋、消化，以至于走极端的资源化处置也出于同一目的：消灭污泥！

由此产生了三个问题：为什么消灭污泥？采用什么方式消灭污泥？消灭污泥的代价是什么？

3.2 自然属性

消灭污泥是因为污泥对人、对环境来讲是有害的，如此大量高含水量剩余污泥的处理处置的确不容易，难点在于处置过程和处置不当都将引起二次污染。从安全、有效、经济的角度审视并由此制定的技术政策必然是以最大限度的实现减量化，进而无害化。稳定化是中间过渡性政策。消灭污泥直接造成资源消耗和高昂经济支出的双重代价：用不可再生的能源消灭了不可再生的资源。按照生态学理论，一个地区产生的污泥有机质长时期的缺失将导致该地区生态环境不可修复的损伤。污泥资源化具有重要的生态学意义。

3.3 经济属性

污泥的经济价值源于其自然资源属性，即“生物固体是污水处理过后产生的一种可以有益回收再利用的初级有机固体产品。”污泥的资源属性是固体，这种固体是生物的、有机的，而有机生物固体的资源化最高形式就是农业利用，生物有机质得以循环利用；但决非只能农业利用，其固体特性还可以用来覆盖垃圾填埋场，建筑回填土，园林培养基等土地利用，以及加工生产道路基质、铺路材料等。与污泥资源属性密切相关的经济属性则必须依赖政策的导引其价值才会显现：污泥资源化的生态意义，污泥资源化产品的经济价值，污泥资源化处置的节能功效。

污泥的经济属性决定了其产品加工的最小成本约束；污泥资源化产品生产成本同样受最小成本的约束，或者说污泥资源化产品的销售利润包含了作为固体废弃物处理处置的成本；更深一步讲，污泥资源化产品销售的低价格包含了对土壤消化有害物的补偿。因此，任何高成本、高耗能的污泥资源化产品生产工艺都是不能持久的，任何偏离污泥价值的市场价格是赢得不了市场的。

3.4 谁来买单？

制定科学合理的政策与建立相应的利益调节机制是调整污泥自然属性与社会属性的前提条件。根据污泥资源化产品的市场发育水平动态调整污泥补贴价格，一次核定，分段核减。例如，项目建设及运营初期以三年为界，保持足额补贴，培育污泥资源化产品包括肥料产品市场，降低投资经营风险；运营五年为第二阶段，投资者的投资已大部分收回，市场发育基本成熟，终端用户稳定；运营七年为第三阶段，投资者的投资已全部收回，进入稳定收益期。每个阶段降低一定比例的污泥补贴，或根据实际发生成本予以复核。这样既体现了政府的政策导向，充分照顾到投资者的利益，又体现出市场化发展的方向，利用市场调节机制促进资源化产业的发展，逐步减轻

政府负担，实现社会效益、环境效益与经济效益的统一。

必要的、合理的污泥处理费用是保障污泥无害化安全处置和资源化的重要前提条件；而资源化产生的效益可以作为污泥达标处理处置费用的一个补充，特别是在排污费偏低的情况下，对于弥补污泥费用的不足具有重要的现实意义。

四、 产业区分

人类产业文明发展史迄今可概括为农业、手工业、大工业、信息、全球经济一体化商业等五次产业革命。城市是人类积聚的载体，淡水与土壤是人类赖以生存的最基本的物质条件，以淡水、土壤资源保护和循环利用的生态产业将是人类产业发展史的第六次产业革命。污泥集中体现了土和水的融合，土与水统一于人的生命活动。古希腊神话的亚当和夏娃就是用水和泥创造了人类。人类对此的感悟是与生命同源的。污泥源于水，从水中分离出来再归于大地是最朴素、最自然的生态平衡原理。基于污水处理工业的污泥资源化产业是城市水系工程的一个分支和组成部分，按照统一的生态规划确立其产业的发展方向，建设水资源循环系统工程，实现水环境与土壤环境的动态平衡发展。

正确区分产业界限是保障污泥资源化产业健康发展与资源优化配置的必要条件。处理与处置是污泥实现无害化、资源化的两个不同阶段，分别隶属两个不同的产业。好氧堆肥是污泥稳定化、无害化处理的方式之一，其处理结果不能等同于肥料制品，更不具备商品肥料的市场属性，其处置过程仍然需要成本。例如，运输费、填埋费、排污费等。采取市场化方式解决污泥的处置问题，首先要在污泥好氧堆肥无害化处理的基础上，按照终端产品的特性要求组织产品的深加工，并实现其市场销售。基于资源化基础上的污泥处置与市场销售是同一过程，因而可以节省污泥处置的运输、填埋、排污等相关费用，节省的费用应当被认为是运营者向政府缴纳的特许经营费。

4.1 污泥处理

现代城市污水处理厂工艺分为污水处理和污泥处理两部分，污泥的处理又可分为前处理和后处理。污泥的前处理是指经浓缩、脱水，包括厌氧消化处理得到一般含水率为 75%~80%（或以污泥干重计）泥饼的预处理过程。污泥的后处理是指在污泥前处理的基础上，泥饼通过高温好氧堆肥消毒装置的堆肥处理，实现污泥的稳定化、无害化，符合国家标准的排放要求。把污泥处理过程分为前、后两个部分，对于明晰污泥处理成本，划清污泥补贴界限，推进资源化产业的发展

具有重要的现实意义。

根据污水处理厂的条件，可以采取集中、分散处理两种方式。若条件许可，把堆肥装置与肥料生产线连为一体，形成污泥达标处理处置与资源化完整的设施装置；而对于集中处理受技术或环境限制不能一体化建设的项目，可以在污水处理厂就地完成高温好氧堆肥无害化处理，使之达到排放标准，减少污泥运输过程可能对环境产生的污染，集中到污泥资源化生产厂深加工。

污泥高温好氧堆肥处理是污泥处理的后续工程，因为，无论污泥的前处理是否经过厌氧或者是好氧消化处理，都存在着达标排放的最终处置问题，经高温好氧堆肥处理的污泥可以满足新标准的排放要求。但污泥是否经过厌氧消化处理对于平衡能源是有意义的。利用厌氧消化所产生的沼气对污泥进行预处理，可以降低污泥的初始水分，提高温度，减少发酵填充料，节省加工费用。

4.2 污泥处置

由于处理后的污水其处置方式为“达标排放”或中水回用，所以其最终处置相对容易。污泥的固体性质和生物性质决定了其处置的难度，无论采取填埋、焚烧、碳化、填海、干化等何种处置方式，都存在着二次污染、耗费能源、处置空间的问题。如果改变污泥的废弃物性质，作为资源来加以利用，问题便可以妥善解决。因此，资源化是污泥处置的最佳方式。“消灭污泥论”的偏激认识源于人类的自私，试图通过彻底消除或者掩盖不文明的痕迹获取道德上的释然与心理上的安慰。

建立在安全、无害化处置基础上的污泥资源化从根本上讲是一个认识问题，是观念的转变，坚持把资源化放在首位，是为了最终彻底解决污泥的处置问题。要从维护生态平衡的高度，牢固树立和落实科学发展观，制定符合国情的技术政策和产业发展政策，促进技术创新，加快污泥资源化产业的发展。

4.3 处理与处置的统一

污泥处理和处置的统一依赖于污水处理厂的产权多元化改革和市场化进程。我国污水处理厂传统的事业体制由于利益机制缺位，经费全额预算管理，因而降低成本，节省费用与经营管理者 and 职工利益不挂钩，导致污水处理成本扭曲，缺少污泥资源化产业发展的内在动力。因此，在原体制内实现污泥高温好氧处理与资源化处置的一个首要问题就是一定要把污水处理厂和其职工的

经济利益放在首位，通过合理合法的制度设计，有效调动污水处理厂主体的积极性，实现资源化产业的健康发展。否则，“好事”也难以以为继。污水处理厂管理体制改革与市场化进程是理顺污泥处理处置工艺，推进资源化产业发展的重要制度保证。在一个产权明晰，成本控制严格，利益分配机制健全的污水处理厂，经营者的利益得到充分的体现：市场化的利益目标是一致的，降低成本，提高效益。

污泥资源化技术是以资源化为首要目标，通过“农业利用、土地利用、建筑材料”多种资源化工艺技术，把污泥的处理与处置统一起来，把资源化产品的生产与销售统一起来，最终实现污泥环境的零排放。此种意义上的污泥资源化设施是污水处理厂泥系的有机组成部分与功能的延伸。

五、 产业发展政策

政策的可操作性往往是政策制定过程中首先考虑的因素，包括政策与环境的相容性，制定的依据，与现实的适应性，前瞻性，经济量化指标等等。政策是临时立法，政策制定与立法程序不同。国家计委、建设部、国家环保总局《关于推进城市污水、垃圾处理产业化发展的意见》拉开了产业化发展的序幕，并为各项具体政策的制定提供了依据。污泥资源化是人类社会推进生物资源循环利用，实现经济的良性循环发展，创造人与和谐的都市生态环境建设的重要内容。国外一些发达国家已将污泥资源化列为重要目标，通过建立资源利用，限制填埋、焚烧等法规促进污泥资源化产业的发展。美国、澳大利亚、德国、加拿大等发达国家的污泥资源化率均已超过 50%。为了保障污泥处理处置按照规划目标稳步推进，一些国家制定了相应的管理措施。（1）国外在相关法规制定中，对于污泥污染控制设备和管理方式制定了高标准的要求。例如针对填埋要求设计地下水监测装置,以鼓励污泥回收利用的研究和推广；（2）建立特殊的污泥管理基金,用于资助那些主动收集利用污泥工厂的建设和设备更新；（3）在国家污泥管理政策中制定灵活、积极的税收政策和经济手段。针对污泥产生、回收、利用的系统制造者、收集者、处理者、回收利用者、污泥产品的购买者,采用不同的税收方式和经济政策以建立一个有利的市场和环境；（4）国家和各级政府，都负有制定相应污泥管理计划的责任和义务。国家统筹规划，各级地方政府主要关注当地的实际情况；（5）加强公众的宣传教育，获得人们的理解和支持，有助于污泥产品的推广和使用，并使得公众自觉地加入到污泥治理的行列中来。

牢固树立和落实科学的发展观，解放思想，改变观念，切实推进我国污泥资源化设施建设、运营的市场化进程。改革现有的管理体制和价格机制，根据国家开放市政基础公用设施建设与运营的有关政策，鼓励外资与民企并购国企或购买股权经营污水处理及污泥资源利用，鼓励各类所

有制经济参与投资和经营管理体制，实现污泥资源化设施建设的投资多元化、运营企业化、管理市场化的开放式、竞争性的建设运营格局。

政府行使环境产权必然以污泥零排放为最高目标，制定与落实各项相关政策，推动污泥资源化产业的发展，发挥政府的服务与监督职能。政府为提高公用事业的效率和服务质量，保障公众利益及特许经营者的合法权益，促进公用事业发展，根据政府职能向“服务、监督”转变的发展方向，按照“政府引导、市场化运作、产业化发展”的思路，通过市政公用设施特许经营授权及签署特许经营合同，明确政府和企业之间的相互责任与利益，切实发挥政府的服务与监管职能，强化企业在市场经营活动中的主导作用，科学区分污泥无害化处理与资源化处置的政策界线。在污泥资源化水平较低的运营初期，要保证由财政污泥处理专户支付的污泥高温好氧堆肥消毒处理费用，实现污泥的稳定化、无害化处理，努力实现固废治理与资源化的协调发展及相互促进，利用价格杠杆与相关政策，不断提高污泥的资源化率，促进公用市政设施建设运营投融资体制改革。

不能单纯计算污泥处理处置与污泥资源化补贴政策的到位所拉动吨水处理成本的提高，或与低水平污泥处理处置成本作简单对比，因为后者是以成倍加大环境外在性成本为代价的。污水处理费源于民，用于民，收了人民的钱为人民办事是政府应当坚持的基本准则，也是人民政府的基本职能与应尽的责任。城市污水处理厂及污泥的处理处置其市政公用设施的社会公益性体现了城市居民的利益，居民为此支付税费（排污费、垃圾费等）；否则，其结果只能以牺牲环境为代价，最后损害的是社会公众的长远利益和城市整体投资环境。

5.1 技术政策

把污泥资源化放在首位，坚持污泥综合处理的发展方向，根据不同工艺制定“鼓励生物资源化”、“推荐其他方式的资源化”、“允许稳定化、减量化、无害化处理处置”、“限制生污泥填埋、非标外运、排放”和“禁止净泥直排”等技术政策，并与污泥补贴数额、按污染物排放当量收费直接挂钩，利用政策与经济杠杆促进技术进步，从根本上杜绝污泥对环境的二次污染。

由于历史与体制的原因，我国排水行业历来“重水轻泥”，污泥的处理处置问题始终没有得到妥善解决，直至构成严重的环境二次污染。“重水轻泥”的错误认识与实践导致城市污水处理厂的污泥得不到及时有效的处理处置，或直接外运，或非标填埋，或直接排海、江河，造成严重的环境二次污染，大大弱化了污水净化厂的环境功能，成为新的环境污染源。泥水并重对策的提出与实践，就是要坚持污水处理与污泥处理“同步规划、同步设计、捆绑招标、同步施工、同步验收、

同步运营”的方针，严格执法，杜绝非标排放；坚持中水与污泥资源化并举的方针，采取多种方式，经济的，荣誉的，政策的，市场的，积极鼓励使用资源化产品。

5.2 产业政策

污泥资源化产业的制度设计和相关政策，要充分体现全面、协调、可持续发展的科学发展观，促进循环经济的发展，维护生态平衡。从宏观上要设计合理的规章制度和科学的政策导向，坚持政府服务、监督与市场化运作并举的方针，积极推动污泥资源化产业的健康发展；微观上，制定科学合理的污泥处理处置价格，利用价格杠杆，实现固废处理和资源利用的动态平衡，限制高耗能、高污染的干化、焚烧、填埋处置方式。

逐步提高排污费是建立城市污水处理厂运营投资补偿机制的首要前提和基本保障，明确将污泥处理处置的运营费用列入排污收费列支范围，坚持成本准入的原则，切实保障处理经费的及时支付。由于缺乏有效的监督管理机制，各级政府挤占、挪用污水处理费的现象屡屡发生。国家对污水处理费的用途早有明确规定，只能用于污水处理（包括污泥处理）的运行开支，不包括再建投资。由于我国目前大多数城市的污水处理收费标准偏低，收取率不高，需要根据项目的实际情况逐步实现污泥的经济价值，以此为基础建立起科学的价格补偿机制。即：在投资、运营保本微利的原则下一次承诺，分期兑付。污泥补贴基数低于测算值或社会平均物价水平时，（1）随污水处理费上调按比例调整；（2）随污水、污泥处理量增加按比例调整；（3）随物价上调按比例调整，要保证污水处理和污泥处理设施的同步运行，特别是对于以资源化目标的污泥处理设施，应予以重点保证与支持。

污泥后处理运营成本及资源化处置价格的确定基于以下因素：①当地污水收费现行标准及未来调价空间；②污水处理费的收取率；③污水处理厂运营管理体制；④污水处理成本；⑤污泥含固率；⑥污泥初级产品的终端市场接受价格；⑦污泥发酵填充物料价格及来源；⑧当地劳动力价格；⑨投资回报期望值。具体来讲，污泥补贴价格制定应遵循的原则是：成本准入，合理收益、节约资源、促进发展，由政府财政部门会同监管部门负责制定或调整。污泥的后处理成本应当包括成本、税费和利润三部分。由于污泥资源化产品享受国家免征所得税（5年）和增值税的优惠政策，从生产之日起，前5年计价范围仅包括成本与利润两部分。

成本指社会平均成本，包括各项应计入价格的制造成本和期间费用。利润指乙方的合理收益。根据污水处理行业并参考固体废弃物处理行业的特点，分别采取净资产或固定资产净值收益率方

式核定。

成本核定按以下方法进行：

(1) 原辅材料和固定资产的购入价格，属政府制定价格的，按规定价格核定；属市场调节价的，按购入时市场平均价格核定，实际购入价格低于市场平均价格的，按实际购入价格核定。

(2) 工资费用、销售费用和管理费用实行总额比例控制，按本市同行业或相近企业近 3 年上述三项费用总额占成本费用总额比例，并参考本市社会平均水平核定。工资一般水平不超过污水净化厂职工平均工资水平。

(3) 计提折旧的固定资产必须是与提供公用事业产品或服务有关的资产，折旧年限按照国家确定的相关规定执行。

合理的污泥处理价格有助于①确保污泥达标处理后对环境的零排放；②建立运营投资价格补偿机制；③鼓励技术进步与产业升级，不断降低污泥处理运行成本；④降低污泥肥料产品的销售价格，提高污泥肥料产品的市场竞争力，确保污泥得到及时有效的处置。

5.3 政府的服务职能

政府在污泥资源化产业发展的作用主要体现为服务与监督，服务职能包括承诺、保障和协调三个方面。

(1) 承诺

政府承诺涉及与特许项目有关的土地使用、相关基础设施的提供、防止不必要重复性竞争项目建设及必要的补贴，但不承诺商业风险分担、固定投资回报率及法律、法规禁止的其他事项。

优先采购 政府承诺对污泥后处理和资源化产品的出路给予政策扶持，市政建设、园林绿化等部门在价格相等的条件下优先采购。

信贷担保 为项目建设贷款优先提供政府隶属或控股的信用担保公司的信用担保；同意乙方

以特许经营权或项目权益为信用担保公司做反担保。

调产与环保优惠政策 按照城市产业调整和环保产业鼓励政策给予项目资金支助或其他应当给予的优惠政策。

政府补偿 特许期限内，因政策调整严重损害项目公司预期利益的，项目公司可以向城市基础设施行业主管部门提出补偿申请，城市基础设施行业主管部门在收到项目公司的补偿申请后 6 个月内调查核实，经市人民政府批准给予相应补偿。

科研资助 政府鼓励污泥无害化和资源化的科学研究与技术进步，优先给予“三项经费”立项与资助。用于污泥无害化处理与综合利用技术改造的贷款，政府给予贴息扶持。

(2) 保障

政府为项目的建设及稳定运营提供以下保障。

资金保障 按时足额支付污泥补贴，为污泥无害化处理处置设施的稳定运营提供资金保障；在污水处理收费较低的情况下，城市基础设施维护费和住宅市政配套费的部分资金可用于补偿污泥处理处置费用的不足，或按照调整机制予以调整。

建设用地 以划拨或租赁方式为项目提供建设用地，收取零租金或象征性租金。赋予项目公司租赁土地项目建设融资的质押、担保处分权，但不得用作除项目建设运营以外的其他用途。

电价 项目设施用电享受污水净化厂同等价格。

税费 项目建成并盈利之日起免征 5 年企业所得税，到期后按政策规定继续申请。有机一无机复合肥享受免征增值税的优惠政策。政府确定的其他免除税费的优惠政策。

(3) 协调

负责做好各主管部门、污水净化厂及相关方面的协调服务工作。

污水净化厂 行业主管部门或有限公司的政府控股方或出资方负责协调污泥项目建设运营与污水净化厂的用地、电力、供水、职工生活，污泥前处理与后处理的流程协作关系，以及与项目相关的其他关系的协调。

运输 为污泥运输和资源化产品的销售提供运输便利，在市属管辖权属范围内免征运输车辆的养路费、道桥费、过路费，协调铁路、农资部门给予污泥农肥优惠铁路运输价格。

相关部门 负责协调相关主管部门，如环保、土地、财政、综合执法、城建等的工作关系，为项目的建设及稳定运营创造一个良好的环境。

六、 工程实例分析

山西沃土生物有限公司以自觉维护国家土壤安全为历史使命，以“沃土”为产业契合点，由此创建了氮素平衡及土壤健康理论，研制开发成功生物高氮源发酵技术和污泥资源化国家发明专利技术，成功实现了沃土三维复合肥料系列产品的工业化生产及连锁发展，始终沿循：环保→农业→污泥资源化→沃土肥料→生物+环保+农业→沃土产业集群的发展思路，贯通产业链，提升产业价值，最终实现：生物资源→循环利用→生态产业→可持续发展的战略发展构想。

2003 年 7 月 30 日，山西省人民政府办公厅《关于全省城市污水处理厂污水污泥处理协调会议纪要》（[2003]26 次）明确规定，按照市场化产业化运作、政府适当补贴的原则，由省计委拨出专款，以贴息入股或资金奖励的方式，鼓励企业投资建设城市污泥处理系统。山西沃土生物有限公司计划建设的太原市污泥处理项目可作为试点，取得经验后在省内推广。

2003 年 12 月 4 日，山西省发展计划委员会、山西省建设厅、山西省环境保护局共同在太原组织召开了“太原市污水净化厂污泥消毒工程可行性研究报告评审会”。评审会组成了由赵丽君教授级高级工程师为组长的专家组。经过评审，专家组认为项目建设有利于促进太原市生态经济的发展与污泥的稳定、无害化处理处置；对于坚持资源化的方针，积极促进循环经济与污泥产业化发展具有重要的示范作用与现实意义。山西省政府所确定的“政府引导，市场化运作，产业化发展”的做法为城镇污水处理厂污泥稳定化、无害化、资源化处理、处置开了一个好头，对全国污泥的处理处置及相关政策的制定与落实有借鉴意义。

猴年伊始，省计委行文正式批复太原市城市污水净化厂（公司）污泥高温好氧堆肥消毒工程

的可行性研究报告，同意山西沃土利用其专利技术在太原市杨家堡污水净化厂和河西北中部污水净化有限公司分别建设污泥高温堆肥消毒工程，给予项目 200 万元贴息入股资助。

山西沃土为落实太原市污泥项目坚持不懈地做了三年的努力，示范工程仅得到 2003 年“非典”时期不到 20 万元的短期补贴，靠自身的力量运营了 30 个月，累计处理处置污泥 3.2 万立方，生产销售沃土黑桃 K 系列产品 1.8 万吨，为污泥资源化产业的发展提供了宝贵的经验及工程实证，成为国内一百多家相关或类似企业中工程处理规模最大、产品销售持续时间最长的企业。

6.1 太原启示

太原项目是山西沃土的攻坚战，其意义与示范作用是多方面、多层次的。

6.1.1 全国第一个污泥处理处置 BOT 项目

目前全国实际运行的污水处理厂共计 572 座，2010 年底预计达到 2000 座，这些厂都面临着污泥的达标处理处置。根据十六届三中全会确定的投融资改革精神，污泥处理处置作为污水处理厂的重要组成部分，其设施建设无疑列入投资放开领域。采用 BOT 方式将是未来污泥项目建设的主要投资运营方式。太原项目是全国污泥达标处理处置第一个采用 BOT 方式承建的项目，山西沃土为此做出的所有努力对全国同类型项目的建设有着重要的借鉴意义。山西沃土的项目职能包括：①发起组建项目公司；②项目立项审批的前期准备工作；③洽谈草签《特许经营合同》；④筹集项目建设资金，转贷给项目公司；⑤组织工程建设；⑥提供持续的技术支持。

6.1.2 项目公司

太原项目由山西沃土与其他合作伙伴共同投资组建的“山西沃土天和污泥资源化运营有限公司”作为企业法人主体负责项目的建设运营，其主要职能包括：①注册项目建设资本金（不低于项目总投资的 20%）；②负责项目的建设运营；③向山西沃土支付技术补偿费与使用费；④收取污泥补贴；⑤借贷及归还项目建设资金；⑥向银行直接申请项目流动资金贷款；⑦具体承担排污社会责任；⑧污泥资源化产品的市场营销。

6.1.3 项目审批程序

太原项目发端于 2003 年的防治“非典”，为此山西省政府专门召开协调会并发《纪要》予以推动。按照正常程序，项目的审批程序包括：①与政府市政主管部门洽谈草签《特许经营合同》；②申请立项；③编制可研，召开专家论证会；④根据专家意见修改可研，上报审批；⑤计委项目批复；⑥正式签署《特许经营合同》；⑦初步设计及审批；⑧特许经营权或在建工程质押，申请银行项目贷款；⑨领取开工许可证。

6.2 松江模式

6.2.1 项目背景

松江区位于上海市西南部，黄浦江上游，是上海市重点水源保护区。目前松江区内已建、在建和规划即将建设的污水净化厂有五座，其中松江污水处理厂已建成的一、二期处理能力 6.8 万 M^3/d ，三期扩建再增加 7 万 M^3/d ；松江东部污水处理厂规划能力 7 万 M^3/d ，一期工程 3.5 万 M^3/d ；松江西部污水处理厂规划能力 10 万 M^3/d ，一期工程 5 万 M^3/d ；松江东北部污水处理厂规划能力 14 万 M^3/d ，一期工程 7 万 M^3/d ；松江南部污水处理厂规划能力 8 万 M^3/d ，一期工程 4 万 M^3/d 。

松江污水处理厂一期工程建成于 1985 年，设计能力 2.5 万 M^3/d ，2002 年进行技改。二期工程 1998 年投产，目前一二期处理能力共 6.8 万 M^3/d ，三期扩建再增加 7 万 M^3/d 。污泥的处置采用中温厌氧消化，离心脱水后外运堆置。目前全厂污泥日发生量 38 吨，含水率 78%。三期扩建后，污泥日发生量 100 吨（一二期厌氧消化污泥+三期生物泥）。

6.2.2 技术

设计采用的污泥处理处置方案为：利用现有厌氧消化产生的沼气将消化脱水污泥与三期脱水生污泥混合后干化预处理，将含水率降至 60~65%，然后采用高温好氧堆肥工艺对污泥作进一步的处理处置。

松江厂污泥处理处置的技术特点是把厌氧消化与好氧堆肥工艺有机结合起来，前者完成污泥的前处理：稳定化、减量化，后者实现污泥的后处理：达标排放。好氧堆肥是厌氧消化的后续工程，同时厌氧消化产生的沼气为好氧堆肥提供能源加温干化污泥，减少填充料、提高污泥初始

温度、缩短发酵周期、降低加工成本。实践证明：厌氧消化与好氧堆肥工艺相结合可较好地解决污泥的处理处置问题，实现污泥厌氧消化处理和无害化处置的有效结合与能源平衡，并为资源化创造条件，对上海饮用水源地的保护，污泥肥料的施用减少化肥使用量，有利于控制面源污染。

6.2.3 合作

山西沃土和松江污水处理厂本着兼顾环境效益、社会效益和经济效益，把国家利益、企业利益和个人利益统一起来的合作原则，按照不同产业把污泥的达标处理和资源化处置分开，前端污泥的无害化处理投资列入达标改造投资，后段污泥处置及资源化投资、运营由山西沃土为主，松江污水厂经营管理者、职工以自然人身份出资参股，按出资比例承担有限责任，分享经营成果。

松江模式的意义在于污泥无害化与资源化的完美结合以及老厂达标改造的成功尝试，分清责任，明晰产权，实现环境效益、职工利益、投资收益的统一。

6.3 普惠制

太原项目给予的扶持政策的具体内容包括：①给予项目 200 万元贴息入股资助；②协助企业争取国家发改委环境保护基金配套资金；③将污泥无害化处理成本列入污水处理费开支范围；④项目建设用地使用权无偿划拨或零租金转让；⑥免征所得税五年。

山西省政府所确定的扶持政策对其他省、市的项目建设不仅具有借鉴意义，而且按照普惠规则在本地项目审批中参照。由于各地项目和经济发展水平及认识上的差异，投资、建设、运营方式也会发生变化，给予项目的政策也会不同；沃土在具体项目运作中会将已经获得的带有普遍意义的扶持政策，例如免征所得税等应用在下一个项目，不断累积，为国家的产业政策提供参考。

6.4 沃土时代

2003 年 3 月 22 日，深圳·污泥处理处置技术与装置国际研讨会暨中国土木工程学会水工业分会排水委员会年会召开，沃土共向大会提交了 3 篇论文，李波、唐建国分别在大会作了专题演讲。沃土以其实际工程实例与 VT 菌剂和产品销售网络，第一次明确提出污泥资源化“霉变”、“软化”障碍并相应完善了生产加工技术，以及围绕产业化发展所形成的适合我国国情的商业模式，得到了大会的高度重视，誉为污泥资源化步入了“沃土时代”。

沃土在污泥资源化理论和实践的探索，始终坚持把资源化放在首位的方针，准确把握政策界限，运用生态理论和生物技术，以市场为导向，把科研重点和技术发展放在提高资源化产品的性能上，攻克污泥资源化产业发展的“重金属”、“软化”和“霉变”三大技术障碍，完善V T筒仓和阳光棚两种发酵工艺和设备，实现了以发酵污泥为主要原料的沃土黑桃K有机—无机—微生物三维营养复合肥料的工业化生产，并为此确立北京沃土天地生物科技有限公司的生物技术研发及产业化发展的区位优势，下游延伸沃土连锁产业的价值链，构筑区域市场相对垄断优势，形成稳固的产业市场支撑。

“资源化”的重点在于“利用”，“利用”是资源化产品的终级目标与市场表达。污泥资源化的根本意义是生物资源的循环利用。因此，坚持科学的发展观，判断某种污泥处理处置工艺技术是否有效、科学、先进，根本的标准是其生物资源化水平。一切不利于生物资源化的努力都是没有意义的。技术选择的关键是怎样结合国情、省情，选择最适合的技术，不但建得起，也用得起，用得好。我们不能采取简单的、机械的、片面的、甚至是不负责任的态度对待污泥的处理处置，避免从一个极端走向另一个极端的偏向。按照循环经济的观点，污水处理厂是城市水资源与水环境的结点，不仅负有污水污泥处理处置的环境保护职责，而且还负有生态平衡、资源循环利用的社会责任。我们无权阻断生态链上的任何一环，就像无权把污泥一把火烧掉而导致区域生态有机质缺失一样。这是对环境与生态的尊重。

以安全性为核心的干化技术改进
——VOMM 污泥处理工艺的经验

陈君宏
(意大利 VOMM 公司)

污泥的热干化已经成为世界上大规模处理市政污泥的主要手段。由于这种工艺曾经出现过大量的安全事故，并直到最近各种产品自燃、设备损坏的事故仍不断见诸报端，因此，污泥干化的安全性问题一直是并且仍将是重要的技术问题。本文兹围绕这个问题，结合涡轮薄层工艺的应用和发展，介绍一下我公司在这方面的设计和运行经验。

第一部分 有关干化安全性的理论探讨

1、 干化工艺的风险分布

污泥是一种具有潜在粉尘爆炸性质的有机物。从粉体专业的角度来统计其粉尘爆炸的危险几率及其位置，可参见下表^a：

产品料仓	20,0 %
除尘、分离、筛分系统	17,2 %
粉碎系统	13,2 %
传输系统	10,1 %
干燥器	8,0 %
供热系统	5,4 %
混合系统	4,7 %
研磨和抛光系统	4,5 %
称重系统	0,5 %
其它	16,4 %

讨论干化的安全性，涉及的是整个干化系统，这一系统具有以下特点：

- ◆ 在设备类型上，大多数干化工艺具有上述粉体安全性分析中所罗列的存储、分离、除尘、过滤、筛分、传输、混合、干燥、供热、称重等各种设备。
- ◆ 这些设备一般是以串连的方式，通过管线、阀、泵、输送机等连接贯通的，设备的数量常常不是单个的，而可能是一组、多组，在一个完整的干化工艺回路上，形成一个互相影响、牵一发动全身的复杂系统；
- ◆ 从危险几率来说，主要的风险存在于干燥器以外的辅助设备，其中有四项内容（产品储存、除尘分离、筛分、传输）的风险远比干燥器本身还要高，因此，仅从干燥器本身的安全性来论证工艺的可靠性是不够的，干化工艺的风险评估应从整个系统来考

虑，也就是分析存在于工艺全程的各种因素的相互作用及其影响；

此外，污泥干化产品在离开料仓后的存储过程也是非常值得重视的，这方面频繁的事故事实上与污泥干化工艺相关；

2、 工艺安全性的核心问题——“干泥返混”

工艺本身决定了污泥干化的安全性，同时也决定了其灵活性、可操作性、稳定性等诸多方面。

工艺的贯通具有一定的前提。由于污泥本身的物理特性，这种物料在干燥过程中易于产生粘结，从而影响产品干燥的质量和干燥器效率。为了跨越这种“胶粘相”阶段，大多数污泥干化工艺采用所谓的“干泥返混”，即通过将部分已经干燥的产品与未处理的湿物料进行混合，以降低其黏性，提高污泥颗粒之间的透气性，提高干燥效率。

这种工艺一般需要较大的干泥返混量，如果湿泥的含固率为 20%，混合后的目标含固率一般在 60%—70%之间，这样，就要求混合与进料湿泥同等重量的干泥，也就是说，从干燥器出来的产品，要有一半甚至一半以上要回到干燥器中。而作为混合用途的产品，必须经过多级输送、提升、筛分、粉碎、存储、称重、混合等额外环节。

除了反复冷却加温过程中的热量损失外，其关键问题还在于安全性。这些安全性问题体现在：

- ◆ 这些环节中的任何一个出现机械故障时，均将造成系统的停机，并启动安全预防系统（停止供料、加湿、氮气吹扫、清料等）。
- ◆ 返混过程中的污泥颗粒有的可能仅循环了一次，有的可能会循环数十次。污泥干化到含固率 90%以上时，具有在短时间内难于复水的特点，因此，当这些混合不均匀的干物料遇到高温，很可能会产生个别颗粒的过热，而过热将导致粉尘的产生。
- ◆ 无论采用热对流还是热传导工艺，在干化过程中产生的污泥颗粒产品，其表面具有较大的孔隙，产品的堆密度较低。这种产品当暴露在空气下时，具有较大的氧化速率和吸水速率。
- ◆ 这种工艺获得的产品只能达到含固率 90%甚至 95%以上，过高的含固率，造粒过程中难以做到密实，这样产品具有较大的脆性。虽然通过筛分获得的产品可以达到“无尘”，但是，由于其产品结构密度上的问题，在储存和运输过程中的吸湿，将导致这种产品还会再次产生大量的粉尘，而这些粉尘与颗粒的混合，将导致更高的氧化速率。

能够避免所谓的“干泥返混”，这是 VOMM 污泥干化工艺的最重要特点之一。

3、 设备的可靠性和稳定性

如上所述，深入到设备层面具体而言，可能对干化产生安全问题的设备包括干泥存储、分

离、除尘过滤、筛分、粉碎、混合、输送和供热等设备，与之配套的各种阀门、泵、马达，以及相关的各种管路（湿泥、干泥、气体、水、氮气等）的温度、流量、湿度、含氧量测量、报警和干预所需的仪器、仪表、泵、阀、储罐等。

干化工艺的特点是，在工艺过程中的任何一项设备停机，均对工艺的连续性造成直接影响。这种影响可以归结为一系列的干预、经济投入和产能损失：

- ◆ 停止上料
- ◆ 惰性气体保护
- ◆ 降温
- ◆ 排料
- ◆ 预热升温

对于一个典型的具有干泥返混工艺特征的工艺方案，其主设备数量可能多达 20 项以上，相关的过程参数更多，最终在工艺控制方面可能形成相互影响的变量可能在 2 个以上。这些变量将影响到设备的最终易操作性、稳定性和可靠性。

相比之下，VOMM 工艺从主设备方面减少了大约 10 项，工艺变量也控制在 2 个以下，这对简化操作、保证极高的设备可靠性、稳定性来说是非常重要的。

4、 产品安全性

污泥产品在储存过程中引发的事故在所报道的污泥干化事故中占有相当大的比例，而产品的性质与干化工艺是密切相关的。干泥料仓之外，污泥的堆放也是事故频仍。

污泥产生自燃原因在于氧化。氧化是放热反应，如果热量不能及时散发掉，将使污泥的堆积温度升高，反过来又加速污泥的氧化，放出更多的可燃质和热量。当热量聚集，温度上升到一定值时，即会引起可燃物质燃烧而自燃。

耗氧速率主要与粒度分布范围相关，粒度越细，氧化越快；粒度范围越宽，氧化速度最高。污泥粒度越大，孔隙越少，氧化表面积越小，则越不易燃；相反，孔隙大，粒度较大，易于供氧，则氧化速度加快。混合型的污泥粒度分布最为易燃，是由于小粒度的污泥暴露的表面活性结构多，初期氧消耗量大，当温度升高时，大粒度和小粒度所形成的混合体具有风流通道较畅通的特点，因此将加快颗粒污泥的耗氧。

从氧化发展到自燃有一个过程，该过程可能长达数十天。因此避免堆积的死角和过长的储存期是非常重要的。

使污泥中保持适当的水分可能延长污泥的氧化期，但不能有效防止自燃，这是因为水分蒸发后，留下了较大的可吸附表面。作为安全措施，喷水也并不能彻底防止干燥后污泥颗粒的自燃，而且会导致更大规模的潜在自燃风险。

一个非常有效的做法是对干化污泥进行造粒。这种造粒与大多数干化工艺过程中完成的自

造粒不同，造粒时的湿度（85%—90%）可使得产品具有很高的密度和硬度，同时其较大的粒径，使得可供氧化的表面积大大减少，对于需要长期储存的农用污泥来说将更安全。

考虑到污泥农用具有季节性，很可能要形成超过三个月以上的储存时间，对于这种储存，采用摊铺翻垛，要比筒式料仓更为安全。

第二部分 VOMM 干化工艺的发展历程

VOMM 公司从 1988 年以来，完成了数十个市政污泥干化项目，在实际运行中保持着无重大恶性事故的良好记录。

在我们的工作中，当然也遇到了各种各样的问题，其中也有一些经验和教训，这些问题主要有：

- ◆ 如何避免和化解干泥料斗中不同湿度、粒度的产品混合所带来的风险
- ◆ 如何承受湿泥进料的更大波动范围
- ◆ 如何防止过滤器被高湿产品堵塞
- ◆ 如何防止热交换器被油脂堵塞（工业污泥）
- ◆ 如何避免水的硬度给冷凝器带来的维护量

从问题的数量和复杂程度上看，只有产品料仓一项属于安全性风险，其余更多的是拓展工艺适应性、提高操作和维护简便性的问题。

1、 工艺贯通及其安全性

VOMM 工艺的基础是基于薄膜换热的原理，它结合了热传导和热对流这两种热交换形式。由于涡轮的强烈离心作用，使得湿物料在进入干燥器后立即被机械力形成薄层，这是一种动态的薄层，在一个受控的狭小空间内，沿着设定的轨道从一侧向另一侧均匀运动，物料在整个干燥器中停留的时间很短，干燥器内的物料极少，这样，湿物料在尚未形成胶粘相之前，已经在含水率方面越过了形成黏着、板结的条件。

正因为这个原因，涡轮工艺无需进行“干泥返混”。整个处理过程可以做到并流、短流程、无死角、设备数量少、换热效率高、产品无过热、干燥器出口处湿度高、产品质量均一等基本优势。

这种工艺的安全性是由极低的物料浓度、相对较高的含湿量、短流程（无过滤器、无返混）、单一运行变量所保证的。

2、 工艺优化追求更高的安全性和节能

在典型的以空气为工艺气体的工艺基础上，VOMM 开发了以蒸汽为载气的工艺，这是为了进一步降低氧含量、大幅度节能而设计的。

由于欧洲的一些污水处理厂普遍规模较小，一些污泥干化设施要考虑接受来自不同污水厂的污泥，这些污泥的含固率波动范围非常大，从 18—30% 不等，要做到进料湿度的稳定性，

即使采用干泥返混，也很难得到保证混合的均匀性，因此有必要进一步降低工艺回路的含氧量，以确保不会产生个别颗粒的过热。由此而开发的蒸汽回路工艺，含氧量可以降低至 4% 以下。同时，该工艺还得到了另一个重要特点：能耗极低。相比于典型的干化工艺（800—850 大卡/升水蒸发量），其实际能耗可降至 710 大卡/升水蒸发量以内，节能效果明显。它除去能满足某些客户对安全性的极端要求外，更主要的是获得较好的经济性。

这一工艺现在已成为最易于接受的主流方案。

3、 改善产品的安全性

如前所述，干化的污泥产品本身具有自燃倾向。这种自燃的机理是目前的干化工艺，特别是干泥返混工艺所无法有效解决的问题，其原因在于，污泥的反复加热和低水分，使得颗粒呈多孔状，表面积大，密度偏低，脆性高，产品中的粉尘问题虽然可以暂时靠筛分解决，但是，产品的氧化、潮解速度较高的问题是无法靠普通造粒解决的。

正是基于这种考虑，涡轮工艺采用单独的造粒工艺来解决土地利用用途的污泥造粒，这种造粒工艺采用很高的机械压力进行成型，产品具有更高的硬度和耐冲击性，在运输、储存、使用的过程中可以避免产品脆性导致的粉尘再生和较高的氧化速度，从而大大改善了产品的储存条件。

专用造粒机的开发是彻底解决污泥粉尘特别是自燃问题的关键所在。这种造粒机可以解决污泥这种物料的高密度造粒，产品具有光滑的表面，硬度、耐潮解和抗冲击能力远远高于一般的污泥颗粒，如果用于某些有机肥或复混肥（复配化肥等原料）的制造，将具有明显的缓释效果。

4、 提高设备和设施的稳定性和免维护能力

除了对污泥采取条形造粒外，对料仓设计及其安全管理的改进是长期经验和研究的结果。通过降低料仓的温度，改进料仓的结构以避免死角和粉尘积聚，优化的仓储管理和设计，均有利于消除可能导致污泥自燃的隐患。

此外，热交换器快速维护装置、过滤器结构改进，特别是涡轮洗涤装置的应用，使得在长期连续运行可能形成薄弱环节的设备获得更高的稳定性，维护量减至最低，维护时间极少。

5、 干化选型中的问题（结论）

国际上污泥处理方案多种多样，各有优缺点，不可一概而论，应根据各自的条件，深入比较和选择。

污泥是一种质量变化非常频繁的处理对象，其物理特性（粘度、含固率等）的变化直接影响处理工艺。因此工艺的灵活性和兼容性至关重要。

干化设备中,国际上主流方案之间的能耗差距和变化幅度有限,不宜作为选型的唯一条件。事实上,安全性、可靠性、可操作性是干化设备的首要要求。

作为一种非常变化敏感的工艺,不宜委托没有经验的工程公司进行部分采购和集成。

分析一个干化系统,不能仅对正常工作状况下的运行条件进行分析,而是相反,应该从非正常条件入手。如发生突然性的、短时或长时间断水、断电、断泥、机械事故、误操作等特殊情况时,设备的安全措施和重新启动时可能发生的问题,只有在这些条件下,才能真正考核一个干化系统的稳定性和可靠性。

考察产品的性状也不应局限在产品完成时,而应该包括其后的过程。产品经过多次筛分,是可以获得较好的粒度和无粉尘性质的,但是,颗粒在运输和储存过程中被机械力和吸潮等因素作用,还会再次形成粉尘。只有适当的含水率才能保证颗粒的机械强度,过高的含固率将使产品产生脆性和易碎,这对产品的储存显然是不利的。

^a资料来源: Reinhard Ernst, Coperion Waeschle GmbH & Co. KG, Risk Analysis and Protection Measures in Pneumatic Conveying systems, Powder and Bulk Solids 2003

污泥有机-无机复混肥的生产工艺探讨

作者简介

姓名：李钢

性别：男

职称：高级工程师

简历：1986年毕业于河北大学生物学系微生物生化专业

1996年进入保定市污水处理厂工作

1998年开始从事污水处理厂“污泥处置”研究工作

2000年开始从事污泥肥料的生产经营工作

发表过“污泥生物除臭技术”“污泥资源化”等论文。

污泥有机-无机复混肥的生产工艺探讨

张建平 李钢 仝恩丛 冯福泰 张凤菊

(保定市排水总公司)

关键词: 污泥有机-无机复混肥 生产工艺 晾晒发酵 粉尘

摘要: 利用污水处理厂污作为有机质、尿素、磷酸一铵、氯化钾、过磷酸钙为无机原料, 介绍圆盘造粒生产粒状有机-无机复混肥料, 介绍工艺流程、主要设备、控制要点。

在有条件的污水处理厂, 利用其产生的污泥制造有机-无机复混肥是避免污泥产生二次污染实现其无害化、减量化的一条有效的最终的污泥处置方法。较为适合我国国情。这里污泥有机-无机复混肥就是指利用污水处理厂污泥作为有机质、磷酸一铵、氯化钾、过磷酸钙为无机原料, 用造粒机生产的粒状有机-无机复混肥料。它的生产在国内污水处理行业已有几年历史了。作为一种有机-无机复混肥料它除了具有一般的肥效长, 缓、速结合, 防止土地酸化, 改良土壤等特性外, 最突出特点就是保水性能好。目前我国污水处理行业生产有机复混肥的厂家已有十几家了, 工艺各有特点, 均处于一种探索阶段。笔者在保定市排水总公司从事污泥制肥生产工作已多年, 现总结出了一些生产经验, 与大家共同探讨如下:

1. 有机-无机复混肥料生产工艺

1.1 生产用原料

1.1.1 污泥预处理: 脱水间脱水后污泥晾晒至水分 45% 左右, 制成宽 1.5 米、高 1 米的条形堆, 堆沤 7—15 天, 使它充分发酵。经过该工序后污泥将发生以下变化, 一是部分病原菌、寄生虫卵和草籽将被杀灭; 二是部分大分子有机质将被分解, 分解后的产物更利于植物吸收利用; 三是污泥的粘性降低, 解决污泥制肥后硬度较大、不利于分解和植物吸收等特点; 四是经过该工序后污泥水分一般将降到 25% 左右, 可大大降低污泥干化成本, 以利于与其它有机肥竞争。

1.1.2 粒状无机原料粉碎过 100 目筛。

1.2 主要设备

主要设备见表 3

表 3 主要设备

	型号	参数
烘干机	9JH2000A	5.5KW
粉碎机	高崖悬辊破碎机	27KW
搅拌机	LJ1800	11KW
圆盘造粒机	φ 2800	7.5KW

二次烘干机	φ 1200 × 1000	5.5KW
冷却筛分机	φ 1000 × 7500	3KW

1.2.3 工艺次序

污泥晾晒 → 发酵 → 烘干 → 粉碎 → 造粒 → 二次烘干 → 冷却筛分 → 计量包装

1.2.4 工艺说明

将预处理后污泥经高温（进口温度 500—650℃，出口温度 60—100℃）烘干进步杀菌至水分 13% 以下，粉碎至 100 目以上，按一定配比将尿素、磷酸一铵、氯化钾、过磷酸钙加入搅拌机内，搅拌均匀（6 分钟左右），输入造粒机造粒，然后再送入滚筒干燥机内烘干至水分 10% 以下，烘干温度一般在进口 550—450℃ 出口 50—75℃，冷却包装。

2. 工艺探讨

2.1 污泥有机—无机复混肥生产条件要求

2.1.1 控制好污泥烘干温度。温度过高：一是有机质损失较大；二是冷却时间长，影响产量，短时间物料温度降不下来，包装后放置时易发生污泥燃烧现象。

2.1.2 严格控制投料量。根据烘干设备的烘干能力控制投料量，使成品水分符合要求。对于本工艺所采用的生产设备，以生产 1.5 吨 / 小时成品的投料量较适宜。

2.1.3 控制混料搅拌时间和搅拌过程中的加水量。一般情况下搅拌 6 分钟，足以使物料混合均匀，同时物料还可吸收一定水分，利于造粒。搅拌过程中加水是污泥有机—无机复混肥不同于其它复混肥造粒过程的特点之一，首先是污泥吸水速度较慢，到造粒机内再加水影响造粒速度；二是污泥粉碎后较轻，在搅拌和输送过程中易产生较大粉尘，而且在空气中悬浮不易下沉，造成工作环境较为恶劣，为此我们经过多次试验后，所采取的办法是在搅拌过程中加 15% 左右的水。经过检验该方法较为有效，改善了工作环境，同时使生产工艺较为流畅。

2.1.4 控制好造粒过程中的加水量。由于在搅拌过程中已加了一部分水，因此在造粒过程中必须控制好喷水量。喷水过大，易产生大球，同时使烘干负荷增大，产量降低；喷水量小，成球率低，次品增多。还有由于污泥有机—无机复混肥在烘干过程中二次造粒作用较小，因此在造粒时必须将成球率控制在 80% 以上；同时停留时间不宜过长，防止尿素在造粒机内溶解形成大球和粘壁。

2.1.5 严格控制烘干温度。一般进口温度在 400—550℃，出口物料温度以不超过 70℃ 为易。温度偏低烘干效率低，成品水分超标；温度偏高，影响成品质量，浪费原料（主要是尿素）和能源。

2.1.6 控制返料比。本生产工艺返料比经过这几年生产实践总结的经验是返料以不超过 25% 为易。如返料比过大，生产系统紊乱成品率降低。

3 工序验证

3.1 以草坪专用肥配料为例

草坪专用肥原料配比见表 4

表 4 无机生产原料

名 称	尿素	磷酸一铵	氯化钾	过磷酸钙	污泥
配 比	20	4	4	10	58

3.1.2 检验结果结果

产品检验分析结果见表 5

表 5 产品加工前后检验结果

名 称	加工前检验结果	加工后检验结果
总养分 (N P ₂ O ₅ K ₂ O) 的质量分数 / %	17.96	16.80
水份的质量分数 / %	38.40	8.80
有机质的质量分数 / %	24.60	23.50
粒度 (1.00mm—4.75mm 或 3.35mm—5.60mm) / %		83.50
酸碱度 PH	6.7	6.8
蛔虫卵死亡率 / %		未检出
大肠菌值		≥ 10

4 工艺存在问题及进一步改进完善措施

4.1 粉尘问题：城市污水处理厂污泥有机质含量在 35%—55%之间，干污泥比重较轻，污泥在烘干和粉碎过程中易产生粉尘，且这种粉尘在空中旋浮时间较长，从而造成生产环境的污染及物料损失，宜在烘干设备的出料口前端安装旋风除尘集料设备加以解决，在粉碎过程中产生的粉尘宜采用布袋除尘与水除尘相串联的除尘工艺加以解决。

4.2 气味问题：污泥在烘干过程中，挥发性污染物和臭味随水蒸汽最终排入大气，造成大气污染。在排入大气前宜采用热交换和冷凝装置去除水蒸汽，然后进入生物滤塔脱掉污泥中令人不愉快的气味。

4.3 污泥晾晒和发酵工序

该工序虽可降低生产成本、增加使用的安全性等优点，但也存在着以下几个缺点：1、占地面积较大；2、冬季加工时间长，不能满足污水厂污泥处理的需要；3、损耗部分有机质和氮；4、工人工作环境差。

5 小结

5.1 根据检验结果与配方基本吻合，表明生产工艺可靠性。

5.2 污泥经过晾晒和发酵降低了污泥水份和黏性，增加了造粒速度和降低了烘干加工成本，从而增强了产品的市场竞争力；同时降解了污泥中大分子物质增强了肥料的肥料效果；

5.3 通过生产实践表明,在搅拌过程中加水,可以降低搅拌过程中的粉尘和造粒过程中粉尘,改善工作环境,增加造粒速度。

5.4 本工艺采取的烘干温度可以保证氮、磷、钾和有机质的损失,从而保证肥料的肥效,同时还可杀灭大肠菌群和蛔虫卵。

欧洲污泥处置策略的必要步骤 - 污泥干化

J. Geyer博士*, 徐燕**

* 德国拉文斯堡流化床系统有限公司/ VA TECH WABAG 子公司
(原名: 维奥技术瓦巴格德国公司), Escher-Wyss-Strasse 25, 88212 Ravensburg, 德国

** VA TECH WABAG上海代表处

摘要

事实上,欧洲在污泥处置方面的路线没有明确的标准. 污泥的安全处置依赖于当地的政策法规. 过去几年, 由于欧盟和各欧洲国家出台了更严格的法律和法规, 欧洲污泥处置的方式发生了巨大的变化.

为了将脱水污泥变成便于处置的有价值的产品,以及提供更广泛的应用, 污泥干化经常应用于污泥处理工艺.

通过长期的实践经验证明了市场上的污泥直接加料式流化床干燥技术是成功的, 安全和可靠的污泥干燥系统.

重要词汇

有效性, 污泥直接加料, 经验, 流化床干燥机, 安全性, 污泥处置, 污泥干化

欧洲的污泥处置现状

污水处理厂的运行设施有责任用最安全, 最经济和最生态化的方式, 对污水处理后得到的污泥进行处置.

目前,在欧洲污泥的处置方式被严格限制:

- 1998年后, 禁止向大海倾倒污泥
- 2000年或2005年后, 禁止有机物含量>5%的污泥填埋
- 设定了严格的污泥农用规定(病原体, 重金属, 有机耕作), 拒绝用污泥施肥的农作物进入超市连锁店.

当然, 各个不同的社团对污泥的接受程度有所不同. 今后, 脱水污泥的热处理, 或者说干化后的污泥在发电厂和垃圾焚烧厂以及水泥厂的焚烧以及干化污泥的气化可能是污泥的唯一的比较理想的和安全的处置途经.

高标准的污泥处置只有通过下列途经来实现: 通过体积和质量的减少, 将污泥变成一种有着良好特性, 便于操作并能广泛用于不同领域的产品, 如: 作为燃料在(煤)发电厂和水泥厂或作为肥料用于农业.

事实上,欧洲在污泥处置方面的路线也没有明确的标准. 污泥的安全处置依赖于当地的政策法规. 过去几年, 由于欧盟和各欧洲国家出台了更严格的法律和法规, 欧洲污泥处置的方式发生了巨大的变化.

下面是几个带来很大变化的里程碑:

1. 1998年, 禁止向海洋倾倒污泥的法律生效, 英国和西班牙受到的影响最大。
2. 欧盟规定, 适用于各成员国, 沿海地区10,000人及以上相当污水处理规模的污泥处置, 在2005年以前, 至少要对污泥进行二阶段的处理。
3. 由于更多的家庭, 楼房和再施工接入污水处理系统, 以及污水处理厂内净化步骤的增加, 导致

了需要处理的污泥量的增加。

4. 由于接受了垃圾处理的技术规范, 规定不允许堆放有机物含量>5%的物质, 因此要求对污泥进行热处理。这一法规已于2001年1月1日在瑞士和荷兰生效, 而其他大多数欧盟国家也会在2005年生效。

就在欧盟各国讨论污泥处置路线的同时, 欧盟各国也在按照不同的步骤对污泥处置:

与此同时, 与目前讨论污泥农用化相反, 更多的在谈论污泥中滋养物的停留时间, 以及滋养物的来源, 比如说, 一方面有磷盐的存在, 另一方面, 有重金属, 分泌物, 农药残留物, 屠宰场的病菌(尤其是疯牛病)等的存在。

在瑞士, 污泥的热处理的处置方式已由立法规定强制执行, 类似的国家还有荷兰和比利时。污水处理厂的最终产物含有污染物, 如金属, 有机物和药物沉积物, 这些物质在自然中循环利用是不合适的。

而与此相反的国家, 如英国和丹麦是污泥利用化政策的代表国家。污泥被农用以保护磷及其它矿物资源在自然中的存在。由于这一政策, 在美国相应的对污泥的叫法也改称为生物固体。但是, 污泥中的污染物, 如金属, 有机物和药物沉积物被严格立法加以限制。在农用A级产品中, 最少量的重金属含量和病原体的大量减少是污泥农用的必要前提条件。

英国的“污泥安全矩阵”规定了用于农作物(水果, 蔬菜, 动物饲料等)的污泥应用量以及期限/5/。英国的 HCCP 也对污泥中的病原体加以限制, 如:

- 2克干重污泥中没有沙门氏菌存在
- 每克干污泥中埃克氏大肠杆菌小于1000 个
- 病原体的减少量为原先病原体的6 log10。在美国的A级生物固体产品也采纳了英国的类似标准, 如:
 - 排泄大肠杆菌 < 1000 /克干物质
 - 沙门氏菌 < 3 MPN/ 4 克干物质。

A级产品被用于草坪, 蔬菜作物, 家庭花园等。

而病原体的大量减少至达到上述标准只有通过包括下列方面的污泥干化来实现:

- 在干燥机内一定的停留时间
- 干燥温度 > 大约 70° C
- 干颗粒的含固率>90%。

在丹麦, 其税收制度鼓励污泥农业再利用。

尽管有关不同污泥处置路线的讨论还在积极地进行, 但污泥处置正逐渐地向污泥的热处理方向发展。

污泥干化 - 污泥处置策略的必要步骤

针对下述目标, 污泥干化已发展成为污泥处理的必要工艺步骤:

1. 污泥减量
2. 消除/简化 污泥消化 和/或 巴氏消毒污泥处理步骤
3. 生产出有价值 and CO₂ 中性产品, 如作为主要燃料的替代品或肥料。

污泥热处理能解决上面提到的任务。

对于污泥干化厂的建设,其必须满足下列要求:

- 高效率,每年运行约8000小时,
- 严格的安全高标准,
- 低的运行费用,
- 与环境的和谐性
- 合适的产品,能为最终产品的运用提供更广的选择,如用于农业,土地复耕,焚烧厂.

污泥干化的特性是将污泥预结构化和热干化.一种污泥干化系统,被过去几十年的经验证明是成功的和灵活的,这就是直接加料式流化床干燥技术.

污泥直接加料式流化床干燥系统

1. 脱水污泥的准备

对高效的干化工艺和将污泥变为可利用的产品,将脱水污泥变成颗粒是最基本的.

和工业领域中的干化物料(如盐)的特性明确相反,脱水污泥有其广泛的物理特性.因此,这就要求相应的污泥干化造粒系统应该随着污泥的变化而灵活改变,比如,含水率,有机物含量,纤维量,絮凝剂量,等等.

污泥直接加料系统

污泥直接加料系统的特点是将污泥直接送入流化床干燥机内,而无需任何前段准备.流化床干燥机只是一个简单的金属盒,在那里干化和造粒同时完成.干燥机内充满了大量的干化的颗粒.脱水污泥由泵送入流化床,同时由特殊装置将其切碎后进入床内.这些脱水污泥迅速地与床内的干颗粒混合.由于很好的能量和物质交换条件的存在,水份迅速蒸发,最终使床内的干颗粒的含固率达到90%.

在干燥机内,污泥的造粒随着水份的蒸发自然发生,同时颗粒在床内运动.污泥直接加料系统对污泥的特性变化不敏感,也就是说该系统不需要不同污泥的事先混合.颗粒在流化床内形成.

这种直接加料系统是一全自动系统,无需操作工人的管理.

2. 流化床污泥干化技术

原理

流化床污泥干燥机的结构从底部到顶部基本上由三部分组成(见图表3):

- 风箱,在干燥机的最下面,用于将循环气体分送到流化床装置的不同区域,其底部装有一块特殊的气体分布板,用来分送惰性流化气体.该板具有设计坚固的优点,其压降可以调节,保证了循环气体能适量均匀地导向整个干燥机.
- 中间段:在该段,热交换器内置于此.使脱水污泥的水蒸发的所有能量均通过此热交换器送入.通常蒸汽或者热油可作为热交换的热介质.
- 抽吸罩:作为分离第一步,用来使流化的干颗粒脱离循环气体,而循环气体带着污泥细粒和蒸发的水分离开干燥机

通过流化床下部风箱,将循环气体送入流化床内.颗粒在床内流态化并同时混合.通过循环气体不断地流过物料层,达到干燥的目的.

典型的在欧洲市场上的流化床污泥干化系统的工艺描述如下:

污泥进料系统

脱水污泥被送入料仓. 而外厂的脱水污泥由卡车送入厂内的污泥接收仓, 然后用泵将污泥打入料仓. 从料仓这里, 含固率在 20 - 37 %之间的污泥由泵直接送入流化床内, 无需污泥的预先混合和其他准备工作.

气体循环系统

流化床干燥机在密闭的惰性气体循环中运行(见图表4). 循环气体将床内的细粉和蒸发出的水份循环带出. 细粉通过旋分分离器被分离, 而气体中的水份通过冷却器采用逆向喷淋法洗涤. 被分离出的细粉则送入混合器内与脱水污泥混合后再次进入流化床内, 通过干化后其含固率也是90%. 这保证了最终产品的颗粒直径和无尘. 于是被干化的无尘颗粒通过出口离开流化床干燥机.

冷却水来自于污水处理厂, 最终回到污水处理厂. 循环气体和密闭系统中的惰性气体通过冷却后由85 ° C 降至60 ° C.

而清洁和冷却后的循环气体通过风机循环至流化床内.

最终产品的处理

干化产品在惰性气体回路中通过流化床振动冷床冷却至< 40 ° C. 循环气体的处理同干化回路中气体的处理类似. 气体通过冷却器洗涤后由风机送回至冷却床. 而干化颗粒被送入产品料仓.

控制

流化床干燥机的控制简单, 完全实现自动化, 无需夜间值班. 产品料仓内的干颗粒无需测量和调整. 流化床内强烈的物质和能量的转换保证了在床内温度85 ° C 的前提下其最终产品的含固率均为90%. 为保证流化床内温度的恒定, 污泥的送入量会不断调整.

流化床干燥机的干化能力由能量的供应所决定, 即由热油温度或蒸气温度决定. 根据所能获得的热量和床内的固定温度 85 ° C, 一个特定的水蒸发量被确定. 进料量的波动或进料水分的波动, 在连续供热温度保持恒定的情况, 会使蒸发率发生变化. 一旦温度变化, 自动控制系统分别通过每台泵的变频调速控制器调节给供料分配器供料泵的供料速率, 从而使干燥机的温度保持恒定. 根据污泥的特性和污泥的含水率, 污泥的进料量有所变化. 这一概念保证了系统始终达到一个最佳蒸发率的状态.

3. 污泥干化工厂的安全性

高标准的安全系统不仅仅依赖于干化系统, 同时也依赖于产品的特性. 只有一个从污泥接收到最终产品储存的明确的安全概念才能保证干化工厂的安全运行.

爆炸事故只有在下列三种情况同时发生时才会发生:

- 一定量的粉尘或气体 (如甲烷),
- 一定量的氧气(10 - 14 vol.-%)
- 一定量的燃烧能源

三者缺一爆炸就不会发生.

通过下列方式, 流化床干化系统提供了最高的安全等级:

- 低蒸气系统, 干化温度 85° C
- 从干燥机本身到最终产品颗粒料仓, 系统的密闭性保证了氧含量仅在0 - 2 vol-% 之间

- 利用干燥机中产生的惰性气体, 将整个传送系统, 包括干颗粒料仓始终保持惰性化.
 - 在振动形流化床中的高效冷却在密闭的惰性气体回路中进行
- 即使由于误操作, 如突然停电, 整个系统也保持安全状态. 因为整个系统处于惰性状态, 而且流化床内温度保持 85°C 远远低于临界燃烧温度.
- 如果需要系统的迅速冷却, 则可以通过冷却器冷却循环气体的方式容易地实现.

实践的经验也证明了至今为止采用这种流化床干化系统的工厂没有安全的问题存在, 如: 火灾, 爆燃及自燃.

工程实例

1. 有效性

由于污水处理厂的污泥是每天不断产生的, 因此污泥干化系统必须具备高的有效性, 以避免增加额外的污泥处置费用. 不管是在比利时的Houthalen污泥干化工厂, 还是在Leuven污泥干化工厂, 在大约4星期的热调试后, 污泥干化工厂即能达到设计能力. 如此短的调试时间, 如此少的调试问题使用户感到吃惊, 特别是市场上的其他干燥机通常的调试时间在数月至一年不等的情况下.

上述的经验在荷兰的Beverwijk 污泥干化工厂也被证实. 该厂两条生产线(每条各6吨/小时的水蒸发量)自1996年投入使用后, 一直成功运行着(图表 5)/4/.

2. 运行经验

工厂控制

污泥直接加料式流化床干化系统被实践证明是一个高灵活性的系统, 而不管其进料污泥的特性. 在荷兰和比利时的干化工厂中其脱水污泥的含固率在20-37 %之间不断变化. 而相应的各种调整工作均全自动完成无需人工介入.

人员

全自动化控制的工厂可以减少人工. 目前, 运行一般有2班工作人员(荷兰的Susteren 工厂只有1班工人). 尽管晚上工厂照常运行, 但均无人值班. 因此, 对运行及维护人员的数量要求一般在4人(荷兰的Susteren 工厂)到10人(比利时的Houthalen 和 Leuven)之间.

运行

流化床干化工厂满足所有预期和保证参数, 而且运行稳定.

病原体

在我们自己的德国Lahr 污泥干化工厂, 我们对脱水污泥和干化颗粒的病原体进行了检测. 流化床内于温度在 85°C 左右, 污泥大概的停留时间为3个多小时. 由于足够的停留时间, 充分保证了对病原体的清除, 这在我们的其他工厂中也被证实了(见图表6)

图表 6: 在流化床干燥机内病原体的减少情况

安全

采用的安全概念被证明在运行的各种情况下是安全的, 这就是说在起动, 关机, 正常运行, 及紧急停机的各种状况下均安全可靠. 惰性气体保证整个系统的氧含量低于 2 vol-%, 而干燥机内的氧含量低于0.5vol-%. 工厂停机后干燥机内的氧含量远低于临界氧含量(参见图表7).

与此同时, 干颗粒料仓也处于安全状态, 因为除了其环境为惰性外, 颗粒的温度也低于 40°C . 于是颗粒被安全地卸载并运至水泥厂, 发电厂或垃圾焚烧厂.

结论

污泥处置在欧洲并没有一个统一的标准. 但有一点是达成了共识, 即禁止污泥倾倒入海以及有机物含量大于5%的污泥禁止堆埋. 大多数的欧洲国家目前基本认同污泥再利用的方式, 以保护资源, 如磷等, 让其在自然界中循环. 另一方面, 污泥含有一些有害物质, 如: 重金属, 医药化学物质, 这就不允许污泥在农业中随意使用.

丹麦和英国采用了循环利用的方式. 而另一些国家却不接收存在的有害物质所带来的风险. 由于没有人知道污泥的再利用最终会对未来的土壤, 地下水, 植物, 动物及人类带来什么样的后果, 一些国家(如: 瑞士, 比利时的费莱米西地区, 荷兰) 已经决定走污泥热处理的方向(发电厂, 水泥厂, 垃圾焚烧厂). 其他国家(如: 德国, 奥地利)还在就该问题讨论, 但是趋势基本还是污泥的热处理道路.

而污泥干化对于目前欧洲的各种污泥处置方式来说, 都是一个重要的中间处理步骤.

- 大量减少污泥处置数量
- 大量减少病原体
- 生产出有价值, 并便于处理和储存的产品
- 生产出类似于褐煤的具有一定热值的生物能源, 具有CO₂ 中性的特性.

欧洲污泥干化市场的长期实践经验证明了污泥直接加料式流化床干化技术是一安全可靠的污泥干化系统. 这种直接加料式流化床干化技术为解决污泥的处置问题提供了基本的途径. 在污泥处置策略中, 污泥干化被认同是的一种安全可靠的处置方式.

爱雪唯斯流化床干化系统的特点

- 直接将脱水污泥送入流化床, 无需干颗粒循环和干湿泥混合造粒(返料系统)
- 最终产品: 无尘的, 含固率大于90%的干固体
- 低干化温度 - 85° C
- 流化床内通过热交换器非直接供热
- 低排放
- 干化系统气体惰性化, 氧含量 < 3 Vol-%, 具有高安全性
- 很高的环境等级, 因为
 - 系统密闭制造
 - 干化过程中剩余气体量低
 - 臭气含量低
- 运行时间: 每天24 小时
- 已被证实为可靠的系统, 年运行时间超过 8000 小时
- 全自动控制系统, 无需全天候值班
- 由于系统均为静止装置, 因此维护费用很低

参考文献

- /1/ G. Huwiler, HOLCIM Siggenthal, Einsatz von Klärschlamm in der Zementindustrie “ TbF-Forum, Thermische Klärschlamm Entsorgung, Zurich 2002
- /2/ Internal Test reports, Aquafin, Artselaar, Belgium
- /3/ Internal Test reports, Zuiveringschap Limburg
- /4/ Slibdrooginstallatie Beverwijk, Jaarsverslag 2002, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
- /5/ The safe sludge matrix guideline for the Application of Sewage Sludge to Agriculture Land, 3rd edition, April 2001

河东污水处理厂污泥资源化（制肥）的实施方案分析研究

曾 杰 王新霞

（乌鲁木齐市河东污水处理厂）

摘 要： 污泥是城市污水处理厂处理污水时所排放的固体废弃物，内含有大量的有机质及各种营养元素，性质极不稳定，对污泥的安全无害化处置一直是各污水处理厂急待解决的问题。本文通过对河东污水处理厂污泥的分析，提出污泥制作生物有机肥的可行方法，以达到污泥的资源化利用，创造良好的经济效益和环境效益。

关键词： 污水 污泥 生物有机肥

一、现状分析

河东污水处理厂，日处理污水 20 万吨，采用的是 A / B 两段活性污泥法工艺，工艺运行过程中会产生大量的活性污泥，经脱水后的污泥是城市污水处理厂处理污水时所排放的固体废弃物，对污泥的安全无害化处置一直是各污水处理厂急待解决的问题。经测试，鲜污泥中除含有 80% 的水分外，还含有大量的有机质及各类营养元素。因此，污泥用作土壤改良剂、用于土地修复、利用污泥制作肥料，成为污泥综合利用的有效途径。

但是，用污泥直接做肥料是十分困难的，因经脱水机脱水处理的污泥，含水量仍在 75%~80% 左右，这样的污泥极易腐烂发臭，运输、施用都很困难，且污泥中有害重金属含量是否超标也是决定污泥能否制肥的关键。因此要对污泥进行有效的分析，找到可行的方法，将污泥制成理化性质稳定，能长期保存，又便于运输，适于机械施用的污泥肥。目前，国内已有几家污水处理厂利用污泥制肥，如：北京北小河污水处理厂（北京汉新源科技发展有限公司），北京密云污水处理厂（北京云农有机复合肥料公司），淄博污水处理公司（淄博普利生物工程有限公司），等，并取得了一定的成效。

二、生物有机肥的市场分析预测

长期以来，我国农业基本上是属于化学农业，在施用化肥的过程中，土地板结越来越严重，农产品质量越来越差。随着我国对外开放的大门的打开，国家对农业“两高一优”的政策要求，对绿色农业，安全农业的呼声也越来越高，要解决的根本问题，就在于减少化肥的施用量，并逐步停用，用绿色有机肥替代化肥。

新疆地域辽阔，是个农业大省，红、白、瓜果产业链等特色农业近年来红红火火，但由于长期施用化肥，部分产品质量达不到国际水平，而被禁止出口，严重制约着新疆特色农业的发展。且随着人民生活水平的提高，人们渴望吃到可口、放心的绿色食品，这也将推动生物有机肥的需求，新疆市场很大，生物有机肥很有发展前途。而新疆有机肥大部分是从区外采购，价格较高，影响了有机肥在新疆的推广应用。如何利用新疆本地资源，开发生产当地适用的生物有机肥，抢占新疆市场，是大有可为的。

生物有机肥是一种速效、长效，既能满足农作物的营养需要，又兼有保水、保肥、缓释的作用的生物缓释肥料，可消除土壤板结，恢复地力，提高农作物产量和质量。

三、河东污水处理厂污泥制肥的可行性分析研究

1、 污泥控制国家标准

根据 GB18918-2002 对城镇污水处理厂的污泥应进行稳定化处理，处理后的污泥农用污染物控制标准见下表

表 1 污泥稳定化控制指标

稳定化方法	控制项目	控制指标
厌氧消化	有机物降解率（%）	> 40
好氧消化	有机物降解率（%）	> 40

好氧堆肥	含水率 (%)	< 65
	有机物降解率 (%)	> 50
	蠕虫卵死亡率 (%)	> 95
	粪大肠菌群菌值	> 0.01

表 2 污泥农用时污染物控制标准限值

序号	控制项目	最高允许含量 (mg/kg 干污泥)	
		在酸性土壤上 (pH < 6.5)	在中性和碱性土壤上 (pH ≥ 6.5)
1	总镉	5	20
2	总汞	5	15
3	总铅	300	1000
4	总铬	600	1000
5	总砷	75	75
6	总镍	100	200
7	总锌	2000	3000
8	总铜	800	1500
9	硼	150	150
10	石油类	3000	3000
11	苯并芘	3	3
12	多氯联苯	0.2	0.2

2、 河东污水处理厂污泥成分分析及产量

我们分析了河东污水处理厂所排放污泥中的养分含量, 结果表明污泥含水率 75~80%, 风干污泥中有机质、氮(以氮元素计)、磷(以 P₂O₅ 计)、钾(以 K₂O 计)的含量见表 1, 远远高于牛羊粪, 与菜籽饼中氮、磷、钾(4.6% 2.5% 1.4%)几乎相等。因此从养分含量来看污泥是一种养分含量颇高的有机肥, 见表 1。

表 1 风干污泥养分及污染物含量

成分含量 污泥来源	养分含量 (%)				污染物含量 (mg/kg)			
	有机质	氮	磷	钾	汞	铅	镉	蛔虫卵 (个/g)
河东污水处理厂	47.2	3.23	1.12	0.64	6.5	19.1	1.58	3.0
农用污泥中有害物质 质量标准					15	1000	20	150

河东污水处理厂日产污泥(含水率为 75%~80%)约为 50 吨。对污泥中重金属含量做过多次测试, 经分析测定, 污泥中各项重金属含量均在国家规定的范围内。见表 2、表 3。

表 2 污泥中重金属含量检测结果(河东污水厂自检)

检测 结果 检测 项目	样品取自脱水后污泥（60℃风干）			
	最大值 (mg/kg)	最小值 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	备注
Cu	254.9	214.3	235.2	
Pb	38	31.5	35.68	
Zn	2072	1465	1768	
Ni	71.05	48.65	58.88	
Fe	29875	18262	24420	
Mn	371	302	342	
Cr	60	30	42	
As	25.8	11.1	14.84	

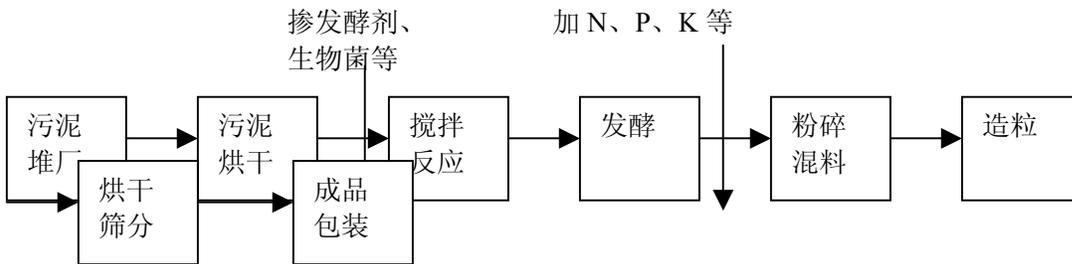
表3 污泥中重金属含量检测结果（新疆地矿中心实验室）

检测 结果 检测 项目	样品取自脱水后污泥（60℃风干）			
	最大值 (mg/kg)	最小值 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	备注
Cu	240	100	182	
Pb	79.2	73.4	75.66	
Zn	1210	630	894	
Ni	28.7	21.0	23.72	
Cd	1.5	1.0	1.3	
Hg	2.715	2.183	2.41	
Cr	60	30	42	
As	25.8	11.1	14.84	
K	6400	4300	546	

3、通过以上分析，河东污水处理厂的污泥附合国标要求，且养分含量较高，适宜制作生物有机肥，污泥经过生物发酵处理可彻底脱臭、不但杀灭了病菌、蛔虫卵、及部分微生物、还蒸发了大量的水分，达到了脱水的目的，含水率可降至 30-40%，同时发酵过程还提高了肥料的熟化度，有机质分解率可达 40-50%，既降低了生产成本，农用效果也很好。熟化后的污泥，其有机物和腐植质都很丰富，用其施肥的土壤，其团粒结构、持水能力等均有提高，可改善土壤的结构性能，利用污泥制肥可达到无害化、稳定化的要求，且化害为利，变废为宝，为城市污水处理厂污泥的处置，找到了一条非常有前景的良性发展之路。

四、工艺分析研究

1、生产工艺流程



2、投资估算

按年产 2 万吨规模设计，投资约为人民币 513 万元（不含流动资金）。

1) 土建部分

- 成品造粒车间一间
- 有机物发酵车间一间
- 产成品烘干、筛分、冷却车间一间
- 成品包装车间一间
- 原料库一间
- 建筑面积共记 600 平方米，投资约 240 万元

2) 设备部分

干燥窖	2 台		60 万元
发酵罐	10 台	10 万元 / 台	100 万元
园筒造粒机	1 台		12 万元
大型搅拌机	2 台		40 万元
皮带输送机	4 台	2.5 万元 / 台	10 万元
粉碎机	2 台	3 万元 / 台	6 万元
筛分包装系统	1 套		5 万元
收尘系统	2 套		5 万元
化验设施	1 套		5 万元

设备投资约 243 万元

3) 前期费用，约计 30 万元

3、经济评价

以城市污水处理厂排放的污泥为原料来生产有机、无机复混肥料，根据国家环保局，国家政局，国家税务总局有关文件，属于三废处理和复混肥生产销售，可给予免税，因此在经济评价过程中，不考虑税金因素。

高效生物有机肥的成本及利税（单位：元 / 吨）

项目	原材料	加工费	成本	售价	利润
金额	550	200	900	1500	600

建厂周期半年，第一年产量按 5000 吨计每年递增 10%，固定资产投入 2 年可收回。

4、环境保护分析

本工艺流程中两台干燥窖主要用于物料的干燥，采用收尘设备对其进行除尘，可低于国家环保规定粉尘排放标准 150mg/m³

5、制肥厂厂址选择

制肥厂建在河东污水处理厂污泥干化场旁，要直接输入原料，且河东污水处理厂紧靠乌鲁木齐市铁路东物流中心站（2 公里）货物进出方便，可大大节约运费，提高生产效益。

五、结语

目前，已有一家有机肥料厂看好河东污水厂的污泥，欲投资兴建污泥制肥厂，厂址已定，正准备动工建厂，今年即可投入运行。

污泥制肥是将污泥资源化利用的有效途径，不但减少了污染，还具有良好的经济效益和环境效益。根据国家“高产高效优质”的两高一优的农业产业政策，随着国门的进一步打开，对有机肥的需求量会越来越大，市场前景广阔，也将会促进新疆红、白、瓜果等特色产业链的良性发展，推动新疆农业走出新疆、走出国门。

城市污泥好氧发酵处理技术应用研究

白海梅 朱惟猛
(上海市城市排水有限公司)

摘要: 分析了上海市区污水厂污泥处理处置现状, 对上海市第一座实施污泥好氧发酵处理工程的工艺流程、运行效果、经济效益、成就及问题作了简要介绍, 得出一定的经验总结。

关键词: 污泥 好氧发酵 应用 研究

一、前言

上海市政府在发展经济建设的同时, 十分重视城市环境和保护, 尤其是对水环境的治理与完善, 40 多年来市政府在污水治理方面投入了巨额资金, 上世纪 60-70 年代相继完成上海市西区污水输送干线和南区污水输送干线; 70-90 年代建成天山、曲阳、龙华、长桥、程桥等中心城区污水处理厂; 1985~1993 年, 建成了合流污水治理一期工程; 1994 年开始建设污水治理二期工程和吴泾闵行污水北排工程; 2003 年完成苏州河综合整治一期工程建设; 2003 启动苏州河综合整治二期工程; 2004 年启动中心城区污水处理厂达标改造工程; 2004 年正式启动西区污水输送干线改造工程可行性研究工作。到 2004 年末, 上海市中心城区污水处理量将达到 430 万 m^3/d , 达到污水收集处理率 70%以上, 这对减轻黄浦江和苏州河的污染作出了重要的贡献。

但是, 在城市污水处理过程中必然会产生大量的污水污泥, 它容量大、不稳定、易腐败、有恶臭, 如不加妥善处理和处置, 将造成堆放和排放区周围环境严重的二次污染, 更有甚者, 将污泥任意施于农业, 导致农作物污染, 土壤受到不可逆转的中毒受害。

国家环境保护总局发布的“城镇污水处理厂污染物排放标准”(GB18918-2002)对污泥的处理处置作了具体要求, 即“城镇污水处理厂的污泥应进行稳定化处理”, 并对稳定化处理后的控制指标作了详细规定。上海市结合新标准的出台, 对污泥稳定化处理技术的研究与应用作了全面思考, 其中对好氧发酵工艺进行了一次实用性研究, 取得了一些经验。本文结合排水公司已开展的污泥稳定化处理技术的研究工作, 就好氧发酵工艺的生产试验情况, 向大会作一简要汇报, 供参考。

二、背景

1、上海市区污水厂污泥处理处置的现状

根据《上海市污水系统专业规划》, 上海市属 12 座污水厂的规划方向为: 东区污水厂、北郊污水厂、程桥污水厂和曹杨污水厂将被废弃; 曲阳污水厂、天山污水厂和龙华污水厂、吴淞污水厂、泗塘污水厂、长桥污水厂、闵行污水厂和桃浦污水厂长期保留。这几个污水厂除桃浦厂属工业废水厂外, 其余各厂均为生活污水厂, 污泥处理处置现状见表 1。

表 1 市属污水厂污泥处理处置现状

序号	厂名	设计规模 (万m ³ /d)	污泥处理方式	出路
1	曲阳污水厂	7.5	重力浓缩+带式脱水	外运
2	天山污水厂	7.5	重力浓缩	船运
3	龙华污水厂	10.5	重力浓缩+离心脱水	外运
4	吴淞污水厂	4.0	重力浓缩+带式脱水	外运
5	泗塘污水厂	2.0	重力浓缩	船运
6	长桥污水厂	2.2	重力浓缩+离心脱水	外运
7	闵行污水厂	5	重力浓缩+带式脱水	外运
8	桃浦污水厂	6	重力浓缩+带式脱水	焚烧
9	东区污水厂	3.4	重力浓缩+离心脱水	外运
10	北郊污水厂	2.0	重力浓缩	船运
11	曹杨污水厂	3.0	重力浓缩+离心脱水	外运
12	程桥污水厂	0.5	重力浓缩+离心脱水+ 好氧发酵	农用

从上述方式可以看出,目前市区各污水厂污泥均没有进行减量化、无害化和稳定化处理,这显然不符合国家关于污泥处理处置的战略思想,也与上海这个大都市的环境政策不符,因此结合现状对污泥进行“三化”处理已成为各污水厂面临的主要问题。

2、市区污水厂污泥稳定化处理工艺的选择

决定污泥处理工艺时,不仅要从环境效益、社会效益和经济效益全面权衡,还要对各种处理工艺进行探讨和评价,根据实际情况进行选定,对环境整体而言,要具有安全性和可持续性。

国内外常用的污泥稳定化技术有:厌氧消化、好氧消化、堆肥、碱法稳定和干化稳定。碱法稳定因无法长期使污泥稳定仅做应急之用;干化稳定因投资运行费用高应用很少;好氧消化需要较高的动力能耗,寒冷季节处理效率降低,副产品没有实用价值仅适用于小型污水厂;厌氧消化应用最为广泛,但有安全隐患、运行管理要求高,市区如曹杨、北郊等厂曾有过厌氧消化措施,因种种原因废弃;堆肥是一种生物处理方法,因其充分利用污泥中 useful 成分,可变废为宝,有利于建立循环型经济而受到广泛关注。这些方法各有千秋,具体选择要综合考虑,杜绝不确定因素对环境可能造成的冲击和意想不到的污染物在不同介质之间的转移。

上海市排水公司对市区污水厂污泥性质进行了系统的调研,查阅了大量的文献资料,在参考

国外发达国家经验的基础上,结合上海的实际情况,编制了《上海城市污泥处理处置规划》。根据规划,市区污水厂除桃浦工业废水厂污泥焚烧外,其余各厂污泥无害化、稳定化处理后回收利用。

鉴于市区污水厂不应用厌氧消化工艺,排水公司在对国内外应用污泥好氧堆肥的设备及应用调研的基础上,借鉴畜禽粪便发酵原理,自 2001 年起应用好氧堆肥工艺原理制成成套技术设备对城市生活污泥分别进行了小试、中试,摸索出了一套少加甚至不加掺合料、工艺简单、便于操作管理的封闭式好氧堆肥处理工艺,该发酵设备引进了日本的专利技术,该技术原用于畜禽粪便好氧堆肥,经简单改进后应用于污水厂污泥的好氧发酵工艺的试验研究。该工艺的成果率先在程桥水质净化厂得到应用,有效解决了长期突出的厂群矛盾,实现了设备成套化、系统化,为污泥的处置走出了一条新路,在国内属于首创。

三、试验研究

好氧发酵的一般工艺过程主要分为前处理、一次发酵、二次发酵和后处理四个过程。其技术主要分为条垛系统、强制通风静态垛系统和发酵槽系统。堆肥处理工艺近几年发展较快。综观国内各地污泥高温好氧堆肥方面的研究,主要集中在后续制肥工艺的研究,而堆肥基本采用自然通风或强制通风条垛式,这种方式占地面积大,操作环境差,在上海这个环境要求较高的城市显然是不太合适的。上海排水公司进行了机械化堆肥技术的试验研究,并在程桥污水厂进行了生产性应用。下面对该生产试验进行简要介绍。

1、泥质评价

程桥厂污水来源主要是生活污水,污泥主要来自两个方面:初沉池污泥和剩余活性污泥。污泥主要成分见表 2。

表 2 污泥主要成分表

品种	有机质	N	P	K	含水率	重金属
程桥厂污泥	65%~70%	5.44%	3.21%	0.51%	80%	未超标
猪厩肥	25.0	0.45	0.083	-	-	-
牛厩肥	20.0	0.34	0.070	-	-	-
羊厩肥	31.8	0.84	1.100	-	-	-

从表中可以看出,污泥中的营养成分远高于农家肥,适合植物生长之需,如对污泥进行稳定化、无害化处理,制成有机肥料,则能变废为宝,既节约资源又维护环境,符合可持续发展战略要求。

2、工艺流程

程桥厂实施的污泥固态好氧发酵工艺日处理量 2t/d(80%含水率)。其工艺是脱水污泥与辅料、菌种搅拌混合后通过螺旋送料斗进入立式发酵器好氧发酵,菌种在运行初始一次性投加,以后留存接种。经过 48h 的一次发酵后,初步达到无害化、稳定化,含水率可降至 50%以下,体积大大减少,便于运输、基本无臭味。但尚未达到腐熟,需要继续二次发酵,采用发酵袋发酵,25 天

后达到熟化，成品可以资源化利用。一次发酵过程中产生的臭气由抽风机集中收集后经除臭系统处理后达标排放。工艺过程见图 1。

3、该工艺的特点：

- (1) 设备简单，可以完全国产化。
- (2) 一次发酵在封闭容器内完成，通过反应放热产生高温，污泥中的水分随抽风设备排出室外，不会产生污水外排的污染问题，达到了安全、卫生的要求。
- (3) 一次发酵时间短，仅需 48h 即可完成。

4、生产运行及效果

该工程自 2002 年运行至今，基本正常，所有运行设备均实现自动控制。污泥发酵后，可得到含水率低于 30% 的熟化成品，成品指标如下：

表 3 污泥发酵成品检测结果

项目	单位	指标	标准值
水分	%	25	≤32
N、P、K 总养分含量	%	6.5	≥6.0
有机质含量	%	40	≥35
EC 值	mS/cm	>7.0	—
粪大肠菌值	无量纲	>0.11	$10^{-1} \sim 10^{-2}$
蛔虫卵死亡率	%	100	95~100%

污泥发酵成品达到无害化、稳定化要求，经市园林所检测，污泥发酵成品中可利用的氧、镁等离子含量充分，利于植物生长吸收，因此市场销售情况良好，实际应用中用户普遍反应良好，不仅仓库全部清仓，而且有机肥使用旺季还出现了供不应求的局面。

5、工程效益分析

(1) 经济效益

程桥厂实施污泥好氧发酵后，不仅解决了污泥出路问题，改善了作业环境，还使污泥得到资源化利用，产生一定的经济效益。经过生产实际应用，污泥（80%含水率）年运行费用为 21.9 万元（不计折旧），污泥发酵成品年销售收入 5.50 万元，可部分回收运行成本，基本实现循环经济。对污水厂而言，实施污泥好氧发酵工程还可节省污泥外运费、占地费、排污费等。

(2) 社会及环境效益

程桥厂污泥好氧发酵工程实施以来，产生了巨大的社会及环境效益，改善了厂区及厂外周边环境，提高了环境质量水平。更重要的是此工程有利于推动污泥稳定化、无害化、资源化处理，为市中心城区污水厂无害化、稳定化处理提供了一条可供参考的途径。

6、工程取得的主要成就

(1) 程桥污水厂污泥好氧发酵处理工程充分利用了有效资源,又保护了环境,对污泥这一固体废弃物基本实现了从产生、收集、处理到最终处置的全面管理。(2) 解决了该厂的污泥无害化、稳定化及污泥出路问题,并产生一定的经济效益。

(3) 工程采用立式发酵器,克服了中心城区污水厂普遍存在的场地狭窄的问题,无需另征地,且运行自动化程度高,安全卫生。本工程为污泥的处置开辟了一条新路,在国内污泥处理领域位于前列,具有较高的科学性和先进性,为市中心城区污水厂污泥处理提供了很好的借鉴。

7、存在问题

(1) 该套设备原用于畜禽粪便发酵,用于污泥发酵时根据污泥性质经过一定的设计改进,但由于是首次应用,加上污泥泥质与畜禽粪便差别较大,实际应用时仍产生很多问题,主要体现在进泥含水率偏高、不稳定、设备材质与动力系统需要进一步优化设计。

(2) 尽管本套工艺采用了 PLC 自动控制,但对操作人员的运行管理仍有较高的要求,试验中曾经发生过数次因操作不当引起的工艺紊乱现象,影响正常工艺运行。

(3) 发酵设备消纳量有限,运行成本偏高,推广应用有一定的局限性。

四、结论

1、从程桥厂污泥好氧发酵工艺的运行情况看,市区污水厂实施污泥好氧发酵工艺是可行的,既可以解决污泥无害化、稳定化处理问题,还可以产生一定的经济效益,既充分利用了资源,又保护了环境。

2、污泥堆肥处理既可制取腐殖质含量较高的肥料,又可使废物体积减少 25%,但由于堆肥过程中需添加一定比例的调理剂,因此堆肥化技术比较适用于中小规模的污水厂。

3、任何一种新的工艺都会带来较高的运行管理水平上的要求,因此尽快提高污水厂操作人员的管理水平以适应不断革新的污水及污泥处理工艺的需要是十分必要的。

4、程桥厂污泥好氧发酵工艺基本解决了污泥稳定化问题,但运行成本偏高,且稳定后的污泥仍存在最终出路问题,因此加快研究开发高效节能、操作方便、因地制宜的污泥资源化处置成套技术是解决污泥处置问题有效而又现实的途径之一。

5、本工程中发酵系统与除臭系统虽然均能实现自控,但两个系统之间的协调控制还有待于进一步优化。

参考文献(略)

太原市杨家堡污水净化厂污泥资源化历程回顾和展望

作者简介：

姓名：李波

性别：男

出生日期：1956 年

简历：山西大学中文系毕业，

山西沃土生物有限公司董事长兼总裁

沃土集团创始人之一

“生物高氮源发酵技术”和“污泥资源化处置成套技术及装置”两项国家发明专利第一发明人

《污泥宣言》作者，多年从事有机肥料产业和污泥资源化产业发展的实践与理论研究工作

太原市杨家堡污水净化厂污泥资源化历程回顾和展望

李 波³ 韩 燕⁴

(山西沃土生物有限公司 太原市排水管理处)

[摘要] 太原市杨家堡污水净化厂污泥资源化示范工程是山西沃土生物有限公司与太原市排水管理处合作的 2001 年度国家级火炬计划项目，同年 9 月 8 日通过科技部组织的现场验收。迄今为止已运营两年半，重大技改三次，累计投资近千万元，取得了许多宝贵的实际运行和工程建设经验与教训，得到科技部、国家发改委、建设部和环保总局，以及国内外业界同行的关注与支持，累计参观考察四十多批，150 多人次，其中上海水务局和深圳水务集团均先后四次派人考察。杨家堡污泥资源化的实践和探索为我国污泥资源化产业的发展与相关政策的制定提供了宝贵的第一手资料。认真总结杨家堡污泥示范工程的经验和教训，展望未来，无疑对推动我国污泥资源化产业的发展具有一定的现实意义。

前 言

太原市杨家堡污水净化厂泥区大门上悬挂着一块白色的木牌，赫然书写着五个黑色魏碑体的大字：**可疑污染区！**似乎依旧在提醒人们不要忘记那个“戴口罩的春天”。也正由于此，2003 年“非典”肆虐期间，山西省主管城建的副省长检查 SARS 预防工作，详细考察了杨家堡污泥高温好氧堆肥消毒装置和运行情况，事后并专门听取了山西沃土李波董事长的汇报。随即安排省政府办公厅分管副秘书长组织召集省计委、省建设厅主管领导和相关处室人员参加的协调会，研究污水和污泥消毒的具体措施，为此下发的《关于全省城市污水处理厂污水污泥处理协调会议纪要》明确山西沃土利用其专利技术太原市杨家堡污水净化厂和河西北中部污水净化有限公司分别建设污泥高温好氧堆肥消毒工程，确立“政府引导、市场化运作、产业化发展”的方针政策，推进污泥资源化产业的发展。猴年伊始，省计委行文正式批复太原市城市污水净化厂（公司）污泥高

³山西沃土生物有限公司董事长，污泥资源化技术发明专利第一发明人。

⁴太原市排水管理处处长、高级工程师。

温好氧堆肥消毒工程的《可行性研究报告》，拉开了污泥资源化产业的序幕。

与那块牌子正相对的是沃土污泥资源化产品深加工车间的墙壁，上面写着“化腐朽为神奇，变污泥为沃土”的标语，昭示一切与污泥抗争的人们的决心和行动。2004 年的春天，与时俱进的共产党人牢固树立和落实科学的发展观，坚持社会全面、协调、可持续发展。污泥资源化产业呼之欲出。

阳光照耀污泥产业！阳光照耀沃土！

一、 新沃土运动

城市土壤资源短缺。生活在那里的人们对土地的狂热远远超过

对土壤的关注：前者蕴藏着巨大的经济利益，而后者是农民的事情。绝大部分城市居民不会关心每天的排泄物和厨余、餐饮垃圾的去向以及由此所产生的人均 80 克污泥的命运，或者它在区域生态平衡中的作用。前几年美国好莱坞大片《水上世界》以艺术的、科幻的形式表达了人类对大地的热爱和忧虑。“像爱戴母亲一样爱戴这片沃土”的沃土人和其合作伙伴，自觉树立维护国家土壤安全的经营理念和历史使命，积极投身基于淡水和土壤的生态产业革命。《创业者》杂志将此概括为“新沃土运动”。

1.1 开端

应当说，沃土跻身污泥资源化产业的初衷并不崇高，按照李季教授总结的**沃土→有机质→污泥**的逻辑轨迹，不难看出，以生产有机肥起家的沃土人以讨便宜的心态“身陷污泥”。但沃土凭借其体制优势、技术优势和产品、市场优势，与太原市排水处合作，就此踏上了污泥资源化产业的漫漫之路。

2001 年 4 月 28 日，山西沃土生物有限公司和太原市排水管理处正式签署《关于城市污水污泥综合利用实验研究合作协议书》。“城市污水处理厂污泥综合利用及三维复合有机肥生产”（即：沃土污泥资源化工程）是 2001 年度国家级火炬计划项目。该项目由山西沃土生物有限公司、中国农业大学、中国农业机械化科学研究院、太原市排水管理处等有关单位及科技人员共同参加，2000 年申请立项(批准文号：国科发计字[2001]305 号)，2001 年初批准正式执行。（项目编号：

2001EB000131)。2001 年 9 月 8 日通过了科技部委托山西省科技厅组织的、国家计委、农业部、建设部、国家环保总局和科技部等五部委专家、领导参加的现场验收。国家五个部委派员参加一个项目的验收审定这在山西省是不多见的，足以表明国家对此事的重视。验收委员会评价，该项目具有技术上的先进性和经济上的合理性，为污水处理厂污泥资源产业化、规模化生产提供了借鉴模式。项目在污泥的资源化基础及应用理论和技术工艺等方面均有独创，部分产品投入市场效果良好，具有明显特色。从正式签署协议到通过现场验收只有 100 天的时间，完成投资 675 万元，顺利通过了设备联调和试生产，为污泥资源化产业的发展打下了良好的基础。

1.2 历练

杨家堡污泥示范厂从通过验收试生产迄今已运行了两年半，较大的技术改造三次，累计投资近千万元，截止 2004 年 1 月 31 日资产评估价值 749.48 万元，技改和科研消耗两百多万元，取得了污泥资源化技术、运营、政策等多方面宝贵的第一手经验和教训，扎扎实实迈开了资源化产业发展的第一步。

两年多的生产经营不计折旧、摊销和财务成本经营成本，基本持平。除 2003 年“非典”期间市财政补贴的 196,650.68 元（按污水 0.02 元/m³计算）以外，所有的固定资产投资和流动资金完全由山西沃土投入，累计资源化处置污泥 3.5 万 m³，为国家节省填埋用地近百亩，直接处置费用 77 万元。生产销售沃土黑桃 K1.96 万吨，经营成本 1,094.49 万元，销售收入 1,238.33 万元，亏损 19.15 万元，财务内部收益率 0.65%。

太原市排水管理处早在 1996 年就开始进行“城市污水处理厂污泥肥料应用技术研究”，时任太原市排水监测站长的韩燕高工作为项目评议人员参加了科研项目的论证评审。同为评审人员的王明军工程师（现任太原市河西北中部污水净化有限公司总经理）完成日本研修生学业后积极参与了相关课题的研究。该课题的评议意见认为，本课题选题正确，具有实用价值，符合国情，环境、社会和经济综合效益显著。

太原市杨家堡污水净化厂是全国大型污水净化厂之一，始建于 1978 年冬。一级处理系统于 1986 年 11 月 1 日投入运行，二级处理系统于 1990 年 5 月 1 日建成投产。污泥处理系统利用法国政府贷款项目，自 1999 年投入运行以来，设备、备件不能保证供应，建成后开开停停，难以适应稳定运行要求。设计沼气产气量 7600m³/日，部分沼气作为消化池内部污泥搅拌和锅炉燃烧，多余部分由火炬燃烧。

1.3 成果

2002 年初,“污泥资源化处置技术”获得国家环保总局授予的最佳环保适用技术;国家专利局受理山西沃土发明专利申请,申请号(02106744.9);沃土黑桃 K 荣获国家级新产品。2003 年《城镇污水处理厂排放标准》与《排污费征收使用管理条例》正式实施前,建设部似乎有意为新颁标准提供佐证,将国内拥有完整发酵技术,包括阳光棚和容积式两种发酵方式,及配套产业服务的沃土污泥示范工程列入科技成果推广项目(2003064)。2003 年 9 月科技部将“污泥综合利用生产三维复合肥”项目评为“实施火炬计划十五周年优秀火炬计划项目”。

二、 技术创新

世界上任何创新都是有代价的,所谓“没有免费的午餐”。污泥

资源化的技术创新按工艺划分包括污泥高温好氧堆肥和污泥农用肥料产品的深加工。前者为污泥的无害化处理,后者为以资源化为手段的无害化处置。

2.1 处理

为了明确区别污泥处理处置的工艺过程和政策界限,对污泥的无害化处理划分为前处理和后处理两个阶段,污泥的前处理是指经浓缩、脱水,包括厌氧消化处理得到一般含水率为 75%~80% (或以污泥干重计)泥饼的预处理过程。污泥的后处理是指在污泥前处理的基础上,泥饼通过高温好氧堆肥消毒装置的堆肥处理,实现污泥的稳定化、无害化,符合国家标准的排放要求。把污泥处理过程分为前、后两个部分,对于明晰污泥处理成本,划清污泥补贴界限,推进资源化产业的发展具有重要的现实意义。

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,它是由污水中的悬浮物,微生物及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。污泥的危害主要包括:①侵占土地;②污染土壤,污泥堆置的有害成份响应聚集,经风吹雨淋,产生高温或其他化学反应,能杀灭土壤微生物,破坏土壤结构,使土壤丧失腐解能力;③淤泥河床、污染水体;④污染大气,污泥有机物被微生物分解释放出有害气体、尘埃,加重大气污染;⑤含有大量的病原菌,主要有肠道细菌、蠕虫寄生虫及病毒三大类,大部分被结合在污泥颗粒物上浓缩,其数量比污水中的要高得多。按照国家《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002),污泥的稳定化、无害化处理好

氧堆肥工艺各项控制指标具体包括：含水率（%）<65、有机物降解率（%）>50、蠕虫卵死亡率（%）>95、粪大肠菌群菌值>0.01。与传统的好氧、厌氧消化工艺对比，好氧堆肥工艺增加了微生物控制指标。

堆肥工艺的历史可以追溯到春秋战国时期，古代农民重视有机肥积造腐熟，明代已明确应用蒸肥法堆肥。现代堆肥技术发展很快，外源微生物、翻堆机械、堆肥设备、烘干设备等已相当成熟，完全可以满足污泥的好氧堆肥需求。

2.1.1 堆肥机理

高温好氧堆肥是在污泥中加入一定比例的膨松剂和调理剂（如秸秆、稻草、粉煤灰或生活垃圾等），其作用包括通过反稀释降低污泥水份和膨松两个方面。好氧微生物群落在潮湿、有氧环境下对废物中的多种有机物吸收、氧化、分解，转化为腐殖质。研究表明，经过好氧堆肥的污泥质地疏松，阳离子交换量（CEC）显著增加、容重减小、可被植物利用的营养成分增加。好氧分解主要是利用嗜热细菌群，分解氧化有机物，同时释放出大量的能量。有机物生化降解的同时伴有热量产生，堆肥物料温度上升至 60~70℃，致使病原菌和寄生虫卵死亡。美国环保署公布的 503 法案中，控制生物固体致病菌对时间—温度的最低要求：55℃ 通气静态仓式堆肥系统堆体至少保持 3 天，翻垛式堆肥系统至少持续 15 天并翻堆 5 次，可以灭活病原菌。试验证明污泥在好氧堆肥装置中可达到 55℃ 以上的高温并维持 3 天以上的时间，充分杀灭病原微生物，达到无害化标准。目前世界各国采用的方法有静态和动态堆肥两种，如自然堆肥法，圆柱形分格封闭堆肥法，滚筒堆肥法，竖式多层反应堆肥法以及条形静态通风等堆肥工艺。发达国家多采用现代工业化的筒仓发酵工艺，以适应环境敏感地区污泥堆肥无害化处理的要求。

2.1.2 堆肥的意义

高温好氧堆肥工艺作为污泥无害化处理的手段具有一次性投资小，运营成本低，处理量大，操作维修简便等优势。现代容积式堆肥装置和生物技术的发展与进步，有效克服了传统堆肥技术占地面积大、臭气不易收集处理、发酵周期长等缺陷，拓展了高温好氧堆肥技术的应用领域与环境。今后好氧堆肥工艺研究的重点是外源微生物菌种的筛选培育和成套堆肥机械设备、能源平衡技术，以及污泥堆肥的适用性研究。建设部城市建设司张悦副司长在“全国城市生活垃圾综合处理研讨会上的总结讲话”（2004 年 2 月 10 日·上海）中明确了现代堆肥工艺在城市固体废弃物无害化、减量化处理中的重要作用，指出“对堆肥技术进行重新定位和认识，也是这次会议取得较

重要的突破。”

杨家堡污泥示范工程目前采用的是阳光棚半封闭式外源接菌好氧发酵工艺，其优点是一次性投资小、处理量大、操作维修简便、外源VT菌有益微生物升温快、防霉变，不足之处是缺少臭气收集处理设备，夏天高温季节棚内有臭气，发酵周期长，相对处理能力低等。按照山西省计委《关于太原市城市污水净化厂（公司）污泥高温堆肥消毒工程可行性研究报告的批复》（晋计城环发[2004] 55 号）和杨家堡污水净化厂所承担的污泥处理数量（包括北郊和殷家堡污水净化厂）污泥 119.5m³/天，计划在杨家堡污水净化厂区内建设 6 个标准筒仓，处理能力 330m³/d（折含水率 80% 污泥 150m³/d）的VT筒仓高温堆肥生产线，原 1260m²的阳光棚改作陈化车间。

2.1.3 堆肥的局限性

污泥的无害化与资源化的目标是有区别的，前者是通过减量化、稳定化，最终实现污泥的无害化。以无害化为首要目标，其处理处置手段可以概括为“消灭污泥”，只要条件允许，越彻底越好。好氧堆肥工艺也是如此，其处理指标是以无害化为首要目标的。事实上，按照资源化农用的要求，堆肥工艺是有缺陷的。据美国科学家研究证实，有机肥在堆（沤）过程中氮素损失 1/2~3/4。污泥热喷与堆肥的技术和应用比较，结果表明污泥中的有机组分经过热喷处理后，易降解物含量增加，难降解物含量降低，而堆肥处理则相反，有机组分中的难降解物含量增加，易降解物含量降低，污泥全氮的 70%~80%是有机氮，热喷处理使污泥中的有机氮向易矿化态转变，易矿化态氮含量较处理前分别增加 8.0%~6.5%；而堆肥处理使污泥中的有机氮向难矿化态转变，难矿化态氮含量增加了 4.1%，污泥中有机磷的活性经热喷处理后显著提高，但堆肥处理降低了污泥中有机磷的活性，热喷处理使得污泥中水溶性有机物的大分子组分向小分子组分转化，而堆肥处理则相反，因此，经热喷处理的污泥的供肥效果优于堆肥处理。大田对比试验也证实了这一点。

杨家堡污泥示范工程采取“堆肥+热喷”的复合工艺，即先堆肥、后热喷，利用堆肥工艺降低污泥的水分和粘稠度，添加发酵填充物增加污泥的淀粉与长纤维成分，为下一步热喷工序创造条件，实现污泥肥料附加值较高的产品的工业化生产。但热喷受产量、耗能和加工成本的限制，不适于附加值较低的普及型产品。

2.2 处置

相对于焚烧、填埋等极端处置手段，资源化处置具有投资小、运营成本低、操作简便、节省

能源、资源可循环利用的突出优势。近年受能源价格上升的影响，发达国家已经明确限制干化焚烧和填埋处置，倾向于资源化处置方式。各国纷纷制定并不断修订的污泥资源化的法律法规对资源化、尤其是农业利用的监控越来越严格，规定也越来越细。利用经济和政策的双重控制，使焚烧和填埋的价格高昂，事实上成为不可能。与此同时加大了对资源化产品使用和销售的政策扶持和经济补贴。污泥资源化处置的日趋规范表明了人类不断加深对污泥资源化处置的认识，以及污泥资源化在生态平衡中的重要作用。按照生态理论的观点，污泥是生物圈有机质链条的重要组成环节，长时期缺失（焚烧、填埋）将导致区域生态的失衡。随着人们生活水平的提高，污染总量的加大，对环境标准的要求将会越来越严格，从而也使治污成本迅速上升，进而加大能耗，增加环境和社会负担。我们必须考虑到社会总支出和环境保护的协调，以及社会 and 环境的承受能力。不能一方面不计成本追求污泥处理处置的“绝对安全”，另一方面由于能耗的加大与成本的上升造成新的消耗性污染。

2.2.1 重金属

污泥来源于工业和生活污水，不可避免地含有一些对环境和生物有害的物质。人们关注的重点主要是 Cd、Pb、As、Cu、Zn 等一些对环境、生物和人类健康有严重危害的元素。重金属由于具有难迁移、易富集、危害大等特点，一直是污泥农业利用最主要的限制因素。

克服重金属障碍的核心是控制。首先，源头控制工业污水与生活污水的混合排放，严格控制工业污水的超标排放，从源头上减少重金属含量。随着我国城市环境的改善和产业结构调整，市区内的重工业、大型加工工业及高污染的工业已逐步被污染小、附加值高的高新技术和第三产业所代替，从根本上减少了工业污水排放总量。杨家堡污水净化厂从最初的工业污水为主已降低为不足 50%，其比例仍在不断降低，重金属含量也在相应减少。第二，堆肥过程加入中低品位的腐植酸作为钝化剂，降低重金属的有效态。金属可分为水溶态、交换态、碳酸盐结合态、铁锰氧化物态、有机结合态、残渣态，一般情况下，水溶态和交换态重金属容易被作物吸收利用，因而也常被称为重金属的有效态，而后 4 种形态则不易被作物吸收利用，并且许多的试验已证明作物吸收重金属的量与交换态的重金属的量呈极显著正相关。在杨家堡所作的试验中，添加钝化剂的堆肥处理的交换态的重金属含量都明显降低。第三，通过堆肥处理稳定重金属。污泥经过堆肥化处理，水浸态重金属量减少，交换态和有机结合态重金属的量总的来说有所增加，而残渣态的量，不同的重金属变化不同，但比不同浸提剂所提取的其他形态重金属的总量大得多。污泥经过堆肥化处理后，植物可利用形态养分增加，重金属的生物有效性减小。第四，总量控制。堆肥发酵污泥的比重为 45%~55%，发酵污泥在商品肥料的比重为 55%~65%，原生污泥的比重最高仅为 35%

左右。污泥肥料的推荐使用量最高 200 公斤/亩，一般仅为 50 公斤。即便是连续使用，在相当长的时期内不会形成富集。沃土从 1999 年开始做沃土黑桃 K 的农作物重金属转移和渗漏的对比试验，目前还没有发现对照作物体内重金属转移和富集。第五，去向控制。为了保证农作物的安全，有效防止重金属的生物链转移，以污泥为原料的沃土黑桃 K 系列产品主要用于大田秸秆类作物、木本类作物、棉花和城市园林绿化四大类，利用作物的生物膜过滤功能，有效防止有害成分向籽实的转移。

从资源化的角度观照，重金属的某些元素，例如“铜”、“锌”等是作物生长不可缺少的微量元素。比照《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)新标准中农用肥料污染物控制标准限值的各项控制指标与《农用污泥中污染物控制标准》(GB 4284-84)“铜”、“锌”的控制标准放宽了许多。跳出“重金属”的困惑，跨越重金属认识的障碍，历史的、现实的、科学的认识重金属的危害与资源属性是人类认识的一大进步。

2.2.2 软化

污泥是城市发展的产物，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，经过浓缩处理的污泥溶解性很差，成为资源利用、尤其是农业利用的主要障碍。污泥的溶解性与其水分含量呈正相关，大量水分与有机质相溶表现为细胞水、间隙水和包含水，容易脱离的游离水比重不大。厌氧消化后的污泥有一部分间隙水、细胞水溢出，脱水率达到 75%以下。污泥由细小微粒组成，增加了机械和热能脱水的难度。并且污泥水分热能烘干低于 50%开始变硬，有效养分难以溢出，基本上丧失了农肥资源利用的价值。但利用污泥的不溶解特点做建材、路基利用是有意义的。无论是经过厌氧消化的脱水污泥，还是原生污泥直接农用或没有经过软化处理会造成农田的砂砾化，不仅起不到资源利用的效果，反而会导致环境的二次污染，破坏土壤结构。

污泥的软化处理是保证资源得到有效利用的前提。沃土利用其三维复合肥料生产的技术优势，通过生物絮凝剂减少有机高分子絮凝剂用量、两次堆肥发酵和热喷等生物、物理的综合处理方式，成功的克服了污泥的软化障碍，使污泥农肥利用成为现实。厌氧消化和高温堆肥在改变污泥的水分分布状态、提高污泥脱水率、分解有机物的功效是相同或相近的。不同的是，厌氧消化是污泥加药浓缩之前，而好氧堆肥是污泥浓缩脱水之后，最大的区别是浓缩之后的污泥胶质被大分子有机聚合物包复。污泥的好氧堆肥不同于一般农肥，必须引入专门筛选培育的外源微生物菌剂，经快速堆肥、二次陈化等两次好氧发酵，利用微生物的繁衍，软化胶质，溢出水分，消除异味，改

善污泥的性质。热喷处理可以切断有机絮凝剂的分子链，彻底破坏包复结构，释放污泥的有效养分。值得注意的是，热能烘干、挤压造粒不仅耗费大量能源，提高加工成本，还会强化污泥的不溶解性，使污泥丧失农肥利用的可能。生产实践证实，污泥高水分区（80%~65%）可以采用热能烘干的方式，中水分区（65%~38%）采用生物脱水工艺，要注意污泥水分 55%的临界点。否则，将事半功倍，甚至劳而无功。

2.2.3 霉变

污泥富含有机质，随着城市居民生活水平的提高污泥的有机质含量也呈上升趋势，上海市城区的污水净化厂有机质含量已接近国际大都市的水平。污泥有机质含量的高低与其资源利用价值和处理难度成正比，污泥肥料的霉变就是直接源于有机质导致的有害成分相应聚集，成为污泥资源利用的又一障碍。

杨家堡污水净化厂的厌氧消化污泥当即生物检测活菌数为零，填埋或直接农用很快被杂菌感染发生霉变。如果不做防霉处理即使加工成肥料产品也避免不了运输、使用过程中的霉变，直接导致农田和作物的污染。沃土 VT 菌是 8 种有益微生物的复合生物制剂，作为添加外源微生物可以快速升温、减少发酵异味、软化胶质和防止霉变。沃土黑桃 K 经热喷处理后须二次接菌，保证产品的优势菌群。污泥防霉技术的关键是保持有益微生物主导菌群的优势，包括施入土壤后仍可保持其活性，调整和改善土壤的微生态。

微生物、包括极至微生物（耐庵菌、高温菌）的筛选和培育是保证污泥发酵质量和克服霉变的关键技术。北京沃土天地生物科技有限公司依托中国农业大学生态学院，自主研发成功 VT 微生物生态制剂系列产品，并已达到工业化生产规模，为污泥资源化产业的发展提供有力的科技支撑。

2.3 深加工

沃土三维复合肥料成套技术与装置是“生物高氮源发酵技术”的具体应用。三维复合肥料是指有机—无机—微生物三种营养成分的复合，养分设计合理，营养结构完整，代表了现代土壤营养及土壤生态发展的主流，产品特点表现为高养分、高活性。三维复合肥料的关键技术是将有机—无机—微生物三种物料在共存条件下，实现高氮环境下微生物的繁衍生存与高活性，即：生物高氮源发酵技术。国内目前所谓三维复合肥料本质上都回避了生物高氮发酵这一技术难题，而采用其它简单混合的方式，或者是有机—无机复混后接入微生物；或者是有机—无机—微生物分别造粒

混施。其技术含量、工艺水平及养分有效利用与沃土三维复合肥料不能相提并论。

经好氧高温堆肥无害化处理的污泥不仅可以实现达标排放，而且可以直接作为初级肥料产品销售，用于土壤改良、园林绿化，还可以作为有机原料生产加工有机—无机复合肥料，即沃土有机-无机-微生物三维复合肥料的深加工。其中，热喷是关键生产技术。

热喷的功效包括：尿素糊化、高温灭菌、成型造粒、提高有机态氮的转化率和有机磷的活性、有机组分易降解物含量增加、有机物的大分子组分向小分子组分转化。沃土采用的第一代热喷机组是在饲料热喷机械的基础上，根据污泥的特性改制加工的专用设备。喷嘴 $\phi 20\text{mm}$ ，产量400公斤~650公斤/h。混合物料经机械挤压、摩擦、剪切和揉搓所产生的高温高压使有机质形态发生变化并使尿素糊化，为接种VT菌并保证其有效存活创造条件。物料经高温高压热喷后自然粘结为不规则颗粒，筛分后按不同规格分别包装出厂。热喷所形成的蜂窝结构有利于保存水分，并利于微生物的活性保持。第一代机组的缺点是耗能高、产量低、加工成本高，总体对污泥的物理适应性差。

在此基础上，沃土与国内科研机构合作，共同开发污泥资源化专用热喷机组改进2000型，设计生产能力1~2t/h，出口模版多孔 $\phi 4\sim 5\text{mm}$ ，提高物料的成型率与商品性能。目前样机小试已经完成，待生产线试车连续运转后即可定型为沃土三维复合肥料的专用设备。

热喷工艺是山西沃土生物有限公司“生物高氮源发酵”专利技术的关键技术之一，与VT耐氨菌的筛选培育共同构成沃土三维复合肥料专有技术，目前投放市场的产品包括：沃土黑珍珠和沃土黑桃K两大系列产品。“VOTO”（沃土）注册商标已成为国内生物有机肥的知名品牌。

三、 产业链价值

污泥是社会化产物，污泥的处理处置必然广泛涉及社会的许多方面，这也是污泥处理处置的难点之一。污泥的处理处置涉及环境卫生和保护部门，热能利用涉及电力、能源、钢铁、化工等行业，土地利用涉及农业、建筑、种植和市政园林，污泥的产业化培育和发展水平关系到社会的方方面面。因此，污泥的处理处置虽然直接责任在污水处理厂，但只有统筹兼顾、合理规划、相互配合才能实现污泥的无害化处理和资源化处置。这就要求在制定污泥技术政策的时候要充分考虑其产业发展的特点，由此制定科学、合理的产业政策，符合社会全面、协调、可持续发展的总体要求。

山西沃土以自觉维护国家土壤安全为历史使命，以“沃土”为产业契合点，由此创建了氮素平衡及土壤健康理论，研制开发成功生物高氮源发酵技术和污泥资源化技术，成功实现了沃土三维复合肥料系列产品的工业化生产及连锁发展，都是沿循：“环保→农业→污泥资源化→沃土肥料→生物+环保+农业=沃土产业群”的产业发展思路，贯通产业链，提升产业价值，最终实现：生物资源→循环利用→生态产业→可持续发展的战略发展构想。

2002 年山西沃土成功实现了主营业务的战略转型，即生产销售沃土三维复合肥料系列产品转为污泥资源化环境工程，以此为核心，上游确立北京沃土的生物技术研发及产业化发展的区位优势，下游延伸沃土连锁产业价值链，构筑区域市场相对垄断优势，形成稳固的产业市场支撑。按照这样一个发展思路，山西省政府所确定的“政府引导，市场化运作，产业化发展”的做法不仅把太原市城市污水净化厂（公司）污泥高温好氧堆肥消毒工程推向产业化发展的道路，并且为城镇污水处理厂污泥稳定化、无害化、资源化处理处置开了一个好头，对全国污泥的处理处置及相关政策的制定与落实有借鉴意义。

污泥资源化产业应当包括这样几方面的内容：资源化方式（农业利用、土地利用、建筑材料）、加工成本、产品性能、市场营销、人员培训，这几方面缺一不可。

3.1 产品

污泥资源化终端产品的性能具有决定性意义：产品为王。认真分析污泥肥料生产企业的利弊得失，最根本的一点是其加工生产的污泥肥料产品性能低下，基本不具备肥料的肥效与使用价值，甚至导致农田板结及有害微生物污染。我们不能站在污泥处置的角度，抱着“甩包袱”的心态，把污泥资源化单纯理解为污泥处置的出路，而忽视污泥资源化产品自身的特点和性能，忽视污泥原料的固有特性，将其视同一般的有机物料来生产有机-无机复合肥，不溶解和霉变将葬送我们所有的努力。

有机-无机肥料的生产，常常忽视了微生物的活性及微生物存活的条件，简单照搬粮食、饲料机械，烘干、粉碎、挤压造粒等一系列劳而无功的加工工序，加大了污泥的不溶解性与生产成本，使得污泥肥料彻底成为“昂贵的”废弃物。山西沃土的核心技术成果——“生物高氮源发酵技术”的突破，圆了有机-无机-微生物三维营养复合的梦，不仅可以生产出高品质的沃土三维复合肥料，而且为污泥肥料的研制生产提供了可靠的技术支撑。陕西省土壤肥料研究所 2001 年田间试验表明，以污泥为主要原料的沃土黑桃 K 养分（氮素的当季利用率最高达到 55%）利用率大大提高，

作物品质显著改善。

沃土污泥肥料产品主要有三个品种：沃土有机肥、沃土田园和沃土黑桃 K。

沃土有机肥 经高温好氧堆肥处理后的污泥可以作为营养土直

接用于园林绿化与土壤改良，也可作为沃土黑桃 K 三维复合肥料系列产品的有机原材料。根据山西沃土污泥示范厂两年多的实际运营情况看，培育周边二级有机-无机复混肥料生产企业是最有效的方式之一，可以缓解库存，保持区域生态平衡与有机质资源的循环利用。有机物料的分散性与收集成本高，客观上制约了有机肥料工业化生产的规模。沃土有机肥以其低廉的价格、稳定的质量与原料来源、就近供货等综合优势有利于占领市场，进而拉动二级生产企业的形成，稳定污泥肥料产品的处置通道。

沃土田园 沃土田园是二级生产企业利用污泥原料按照不同的

养分需求添加化肥生产加工的有机-无机复混肥料，目标市场是大田农作物。大田农作物施用的主要品种是碳酸氢铵与过磷酸钙等低价位的化肥，这是因为大田农作物的经济比较效益低所决定的。农村政策的落实和粮食直接补贴，大大提高了粮食种植的经济价值，客观上促进了农户对大田增施有机肥料。优质低价是沃土田园的市场竞争优势：市政污泥→廉价添充物→低成本发酵→沃土有机肥（有机物料）→沃土田园（就近加工）→就近销售。

沃土黑桃 K 沃土黑桃 K 是严格按照三维复合肥料加工生产的

污泥肥料，是污泥肥料的高利润产品。根据市场需求与生产线加工能力确定沃土黑桃 K 的产品方案。一般情况下沃土黑桃 K 的产量不低于总产量的 30%，以确保企业的经济效益。

3.2 运营

污泥资源化运营的关键是降低成本，而降低成本的核心是污泥无害化处理补贴价格。污水处理费是污泥处理处置成本的唯一来源。坚持成本准入，而非单单就补贴价格讨价还价，目的是为污泥的无害化处理提供资金保障。杨家堡污泥资源化的实践再一次证实仅靠污泥肥料的市场销售是无法保证污泥处置出路的。污泥资源化产业的发展在很大程度上取决于其资源化产品的最终出

路。不能把政府引导、市场化运作片面理解为由市场承担资源化产品的最终处置和出路的全部责任，而应当是政策与市场共同努力的结果。政府负有政策引导和制度设计责任。

另外一方面，资源化技术的经济学意义就是“物美价廉”——以最低的加工成本生产性能最好的肥料产品，即污泥肥料加工生产的全过程成本控制：发酵辅料、能耗、磨损、人工、折旧、包装、仓储、运输、施用。相反，质次价高，或者是质高价也高，都将使所有的加工处理技术失去意义。

污泥的资源化及污泥肥料产品的使用是一个渐进的过程，即污泥的资源属性及其产品的市场价值客观上存在一个认识与被接受的过程。片面强调污泥的废弃物特征是不对的，但把污泥的资源属性一下子提高到超越市场认同的水平也是不切实际的；即便是污泥肥料产品已经得到市场的普遍认同，也不能完全抹煞其有害性的一面，即：**生物固体可以回收利用的事实并不排除生物固体被处置的可能**。一个有趣的现实是相对于“厌氧消化—填埋”和“热干化—焚烧”传统处理处置方式污泥处理处置所产生的费用从来都没有产生过问题：从污水处理费中列支；“堆肥—资源化”工艺却出了问题，需要重新审核成本，关键是资源化处置的结果可能产生利润。完全市场化的选择这个问题是可以避免的。污水处理厂是污泥产生及处理处置的基本责任者，必须负责污泥的最终安全处置。在一定的法规框架范围内，采取市场化选择的方式，把污泥的处置委托给其他责任者。但污泥有价化、资源化、市场化水平不高的条件下，污泥的处理处置和污水处理厂的主体经营者就会产生事实上的利益冲突。

污泥资源化运营中的另外需要注意的方面是能源平衡。污泥的生物能转化为热能，用于消除水分，达到无害化和资源化处理处置的目的。例如，利用厌氧消化产生的沼气对污泥进行预处理，回收交换堆肥过程产生的热能等，都可以有效降低能耗和加工成本，从而提高污泥资源化产品的市场竞争力。

污泥补贴、运营主体和能源平衡是污泥资源化运营过程的三个主要环节。

3.3 市场

营销是企业的市场表达，是污泥资源化完整的市场价值。污泥资源化的全部意义都必须通过市场营销来表达，否则，污泥将在前端被阻塞——污泥的处理与处置将同时失效。但这并不意味着污泥的出路完全是市场选择的结果。产品销售与污泥处置是同一过程，产品销售的同时也解决了

污泥的最终出路问题。

有机肥料由于其产品特性基本上是区域性市场商品。按照农业部“沃土计划”要求，每亩有机肥施用量要达到 2 吨以上，这类有机肥主要是指农民自行沤制的农家肥（粗肥），此类肥料对商品有机肥的冲击力越来越弱，主要是由于养殖业与种植业的专业化分工所致；另外“人畜共生”环境恶劣的生活方式已逐渐被现代文明生活方式所替代。因此，自制农家肥由于原料及人工不计入成本的“廉价”优势已不复存在。商品有机肥料的优势在于其原料与市场距离较近，在有限的区域范围内形成有效供给，由此决定了商品有机肥料的市场销售策略是“就近生产、本地销售”。有机肥产业的有效整合力是适度的生产经营规模，因为只有适度的生产规模才能满足有机肥原料来源分散、销售半径短的特点，只有实现本土化生产、本土化销售才能真正实现原料与市场资源的优化配置。利用沃土的品牌、技术、产品优势所构筑的产业连锁为污泥肥料的市场营销提供市场份额、经销商队伍和商业模式的支持。围绕太原市杨家堡污泥示范工程沃土陆续培育了文水县、祁县、太原市小店区等多个二级生产企业，最终形成了生产资料公司为主体的经销商队伍。区域市场垄断战略有利于产品差异性特征的凸现与区域范围内卖方市场的形成，进而以较大的销售差额吸引经销商，以“缺货”与“高利润”培养经销商的忠诚度。

污泥肥料基于补贴的贸易壁垒和利益合理划分所形成的专业化分工，污泥肥料的生产与销售可以采取经销商承包和二级生产企业深加工两种经营方式。

四、 展望

杨家堡污泥示范工程是设在杨家堡污水净化厂中的民营环保生产企业，这种两种不同所有制的“厂中厂”经营模式很容易产生利益冲突，是污泥无害化处理和资源化处置一体化建设运营与污水处理厂老厂达标技术改造中应注意解决的问题。“厂中厂”经营模式由于缺乏内在的利益协调机制，在实际运营过程中很难处理好基于污泥前处理的污泥无害化处理和资源化处置的衔接问题，并且很容易与污水净化厂的经营管理者发生利益冲突，进而影响污泥示范工程的稳定运营。解决的办法一定要从制度设计和政策引导上合理区分不同利益主体，采取混合所有制经济体制，把污水净化厂职工和经营管理者的利益和污泥资源化所得利益有机联系起来。为此，山西沃土和排水处提出杨家堡污水净化厂职工参股方案，与山西沃土共同出资组建污泥资源化运营项目公司，按照持股比例承担有限责任，分享经营利益。

利用太原市城市污水净化厂（公司）污泥高温堆肥消毒工程建设的有利时机，提高污泥资源

化设施的技术水平，改革污水净化厂事业管理体制是沃土和其合作伙伴共同面临的两大任务。通过技术改造与进步促进以及在污水净化厂的体制改革，反过来，产权清晰、利益统一、管理科学的多元化混合所有制经济又可以极大的提高技术进步与创新的积极性，提高生产和经营效益，提高产品与服务的质量。技术改造和体制改革相辅相成、相互促进。

4.1 改制

太原市目前已建成的城市污水处理厂均为事业单位，多年靠财政拨款，只能勉强维持运营，设施、设备得不到及时维护、更新，大部分设备处于报废边缘；多年计划经济的管理模式，使污水厂人满为患，人员越来越多，包袱越来越重。政府独家投资与运营的排水公用事业，产权形式单一，运营机制呆板，缺乏激励和约束机制，城市排水事业融资困难。例如：杨家堡厂 1986 年开始运行，多年处理水量只有一半，直至 2002 年才达到满负荷运行。事业单位体制造成冗员过多、运营负担不断加重，仅杨家堡厂就有职工 278 人，平均 18.5 人/万吨水，远远高于额定比例。

杨家堡污泥示范工程的产业化发展迫切需要与之相适应的管理体制，就此，针对杨家堡污水净化厂现状，根据市委、市政府《关于加快推进国有企业改革的实施意见》和《太原市城市排水管理体制改革的方案》，建议杨家堡污水净化厂的体制改革分两步走，第一步，由山西沃土生物有限公司与杨家堡污水净化厂和太原市排水管理处经营管理者和职工合作组建山西沃土天和污泥资源化运营有限公司，把国家、企业、个人利益统一起来，积极推进市政公用事业产权多元化和混合所有制经济的发展。第二步，为促进太原市杨家堡污水净化厂混合所有制发展，提高经营效率，实现国有资本、职工身份双置换，引入民营资本进行技术改造，降低能耗，提高污水处理能力和中水回用水平，按照产权清晰，管理规范，利益统一，责权分明的现代企业制度要求，将杨家堡污水净化厂改造成为混合所有制的有限责任公司。

污泥资源化项目公司组建方案

山西沃土天和污泥资源化运营有限公司（筹）是根据省计委的要求，由山西沃土生物有限公司与其他自然人共同出资组建的污泥资源化项目建设与运营的项目公司，担负项目的建设、运营、管理任务，并逐步发展中水回用和污水处理厂技术改造与经营。注册资本：1000 万元，其中，山西沃土以其在杨家堡投资的厂房、设备评估价值 749.48 万元，加 5200 元，合计 750 万元出资，杨家堡污水净化厂及太原市排水管理处经营管理者和职工集资参股 490 万元，由两名自然人代表持股。首批注册资金到位 250 万元，注册完成后到位 240 万元，按比例受让山西沃土设备出资，

省煤炭资金贴息入股 200 万元到位后，等比例受让山西沃土设备出资，由山西金通投资管理有限公司代省持股。最终股权结构为：山西沃土 310 万元，占注册资本的 31%，金通公司 200 万元，占注册资本的 20%，杨家堡和排水处职工 490 万元，占注册资本的 49%。

项目资金到位后，完善杨家堡污水净化厂污泥资源化设施，并利用国家技改资金改造和启动厌氧消化装置，利用沼气能源进一步降低污泥资源化加工成本，着手太原市河西北中部污水净化有限公司污泥好氧堆肥新建工程项目建设。沃土天和按照特许经营授权及项目要求，进行经营范围的污泥好氧堆肥无害化处理及在此基础上的资源化处置，获取污泥处理补贴与资源化产品的市场销售利润。

杨家堡污水净化厂改制方案

山西沃土生物有限公司以其在杨家堡污水净化厂污泥资源化设施投资 750 万元和省计委批准（晋计城环发[2004] 55 号）的太原市杨家堡污水净化厂污泥高温好氧堆肥及消毒工程新增投入资金 1950 万元，以及杨家堡污水处理工艺改造与厌氧消化系统完善配套投资 3000 万元，合计 5700 万元为控股出资方；杨家堡污水净化厂固定资产残值按政策规定经批准缩水后的 50%转让给本厂职工和经营者，其余 50%折为股本为参股出资方，共同组建有限责任公司，申请市政府授予特许经营权，根据《特许经营管理办法》由市财政按照“成本+税费+利润”成本准入的原则核定污水处理费（含污泥补贴），自主经营，承担污水处理的环保责任。

按照相关政策规定，对现有人员进行分流，分流的主要渠道一是新公司实行竞争上岗，二是实行提前退休政策。改制前退休的人员享受事业编制待遇，仍由原资金渠道解决退休费用；干部提前退休的套用行政机关人员优惠政策；改制后 3 年内退休的，事业单位的工龄按事业待遇计发，企业工龄按企业待遇计发。建立有效的激励和约束机制，提高污水处理率及资源化利用率，提高规模效益，降低运营成本，加强技术革新，改善服务质量，增强核心竞争力。

4.2 改造

按照山西省政府《关于全省城市污水处理厂污水污泥处理协调会议纪要》和省计委《关于太原市城市污水净化厂（公司）污泥高温堆肥消毒工程可行性研究报告的批复》，在杨家堡污水净化厂区内建设 1 条有 6 个标准筒仓，处理能力 $330\text{m}^3/\text{d}$ （折含水率 80%污泥 $150\text{m}^3/\text{d}$ ）的 VT 筒仓高温堆肥生产线；1 座 1260m^2 的日光温室型陈化间；1 条 $15\text{t}/\text{d}$ 的三维复合肥生产线以及附属的仓储

等设施；将杨家堡、殷家堡和北郊三座污水净化厂（以下分别简称杨厂、殷厂、北厂）的污泥集中进行好氧堆肥无害化处理。总投资 5000 万元，其中，处理杨家堡污水净化厂（包括北郊和殷家堡污水净化厂）污泥 $119.5\text{m}^3/\text{天}$ ，投资 2700 万元；处理河西北中部污水净化有限公司污泥 $115.5\text{m}^3/\text{天}$ ，投资 2300 万元。项目固定资产投资 4417 万元，流动资金 498 万元。资金筹措方案为：山西沃土生物有限公司自筹 1000 万元资本金，组建项目建设运营公司，省计委贴息入股 200 万元，申请国家发改委“中央预算内专项资金”800 万元，其余 3000 万元申请开发银行中长期项目贷款。

太原市杨家堡污水净化厂污水处理能力 $16.64\text{万m}^3/\text{d}$ ，经厌氧消化处理的泥饼 $74\text{m}^3/\text{d}$ （含水率 75%），生泥饼 $107\text{m}^3/\text{d}$ （含水率 80%）。

北郊污水处理厂现有能力 $1\text{万m}^3/\text{天}$ ，生泥饼 $6.2\text{m}^3/\text{d}$ （含水率 80%）；一期扩建后达 $4\text{万m}^3/\text{d}$ ，预计 2005 年投入使用，生泥饼 $25.5\text{m}^3/\text{d}$ （含水率 80%）。二期扩建完成后达 $8\text{万m}^3/\text{天}$ ，预计 2006 年投入使用。生泥饼 $51\text{m}^3/\text{d}$ （含水率 80%）

殷家堡污水净化厂现有能力 $1\text{万m}^3/\text{d}$ ，生泥饼 $4.5\text{m}^3/\text{d}$ （含水率 80%）。

杨家堡污泥工程最低处理量 $137\text{m}^3/\text{d}$ ，含水率 80%。

最大处理量 $162.5\text{m}^3/\text{d}$ ，含水率 80%。

太原市城市污水净化厂（公司）污泥高温好氧堆肥消毒工程项目全部建成后沃土黑桃 K 总产量可达到 10,000 吨，沃土有机肥 28,154 吨，产品年销售收入 915 万元，污泥补贴 1,080 万元。年总收入 1995 万元。

4.3 效益

污泥资源化项目，根据测算杨家堡项目全部投资财务内部收益率 14.63%，投资利润率 9.39%。污泥补贴足额到位后，根据杨家堡污泥资源化运营的实际情况，预计投资回报率可达到 15%以上。污泥厌氧消化和好氧堆肥一体化运营后，利用厌氧消化产生的沼气加温干化泥饼，可以提高污泥的预处理温度，减少反稀释填充物料，提高污泥处理率，减低成本。据测算，吨水可以至少减低 0.015 元/d，提高整体经营效益。

改制后的有限责任公司组建和技术改造将极大的提升杨家堡污水净化厂的市场竞争能力。据测算,减员增效,降低能耗,提高产能,开发中水,污泥资源化各项经营措施并举,不仅可节省污水处理费开支,而且可大大减少污染物排放,提高企业的经营效益,并为太原市景观、工业、汽车清洗、小区冲厕、城区绿化、农业灌溉提供 10~15 万吨/日中水,缓解水资源短缺的压力,提高我市的可持续发展能力。

五、 特许经营

建设部发布的《市政公用事业特许经营管理办法》自 2004 年 5 月 1 日起施行。据此拟定的《太原市城市污水净化厂(公司)污泥无害化处理处置特许经营协议书》(讨论稿),广泛征求了业内专家和建设部有关领导的意见,几易其稿,于近期提交太原市政主管部门,并正式申请特许经营授权。

《污泥特许经营协议书》由山西沃土负责起草,共计二十章一百三十一条,15700 余字,详细界定了政府和经营者的责任、权力和义务,以及污泥无害化处理和资源化处置的概念、方式及监督管理办法,是一件政策性很强的法律文书。《协议书》的编制以公平原则为基础,坚持基于生态平衡资源化优先的原则,在污泥有价化的前提下以成本准入为原则,积极推进污泥资源化产业的发展。

5.1 公平原则

分析比较各国污泥处理处置法规和其演变的历史,都是以本国的经济发展现状和不同时代的环境要求相适应的,所谓公平仅是一定时期内与本国实际发展相适应的政策与法规的表达方式,包括对不同处理处置工艺的认识水平和把握程度。我们所指的公平原则是好氧堆肥作为新颁标准所列举的一种污泥无害化处理工艺的具体应用,应当与其它处理方式或工艺相同对待,即所发生的运营费用列入污水处理费开支范围,而不应对此有任何争议。这就是污泥的处理处置成本和费用只能来源于污水处理费的唯一性原则。《污泥特许经营协议书》刻意回避资源化的提法,就是为了避免资源化产品的市场营销所可能带来的收益冲淡污泥无害化处理的主要目标,把无害化处理和资源化产品的市场化发育水平界定在一个相对合理的范围,通过调整污泥补贴动态平衡利益分配。

5.2 生态平衡原则

受全球能源危机的限制和土地资源的制约，世界各国纷纷制定政策和提高焚烧、填埋的收费标准和税收加以限制，同时，对污泥的资源化过程和结果予以严格的规定和监督。这一切都在客观上促进了污泥资源化农业利用、土地利用的产业发展，适应世界可持续发展的需要。世界经济一体化所形成的“人类只有一个地球”的地球村环境保护观念，不再把各国的环境保护仅仅视为本国的事情，而是人类共同生存的需要。污泥的资源化关系到土壤有机质的循环和区域生态平衡，是现阶段坚持和落实科学发展观的具体体现。

污泥资源化产业的发展是政策引导和法律规范的双向促进，规范资源化方式，严格污泥资源化运营商准入资质和全过程监管，恰恰是资源化产业发展所必需的，否则，不负责任的、不科学的、唯利是图的污泥资源化处置只会葬送产业的发展。

5.2 成本准入原则

《污泥特许经营协议书》的核心内容一是污泥资源化的过程控制和监督，另一个是污泥资源化运营的价格，即污泥补贴，污泥处理处置的有价化。涉及的价格核定概念有“成本”、“税费”和“利润”。其中，“成本”的概念外延界定是很重要的。成本指社会平均成本，包括各项应计入价格的制造成本和期间费用。

成本核定按以下方法进行

(1) 原辅材料和固定资产的购入价格，属政府制定价格的，按规定价格核定；属市场调节价的，按购入时市场平均价格核定，实际购入价格低于市场平均价格的，按实际购入价格核定。

(2) 工资费用、销售费用和管理费用实行总额比例控制，按本市同行业或相近企业近3年上述三项费用总额占成本费用总额比例，并参考本市社会平均水平核定。工资一般水平不超过污水净化厂职工平均工资水平。

(3) 计提折旧的固定资产必须是与提供公用事业产品或服务有关的资产，折旧年限按照国家确定的相关规定执行。

坚持成本准入的原则就是以污泥的无害化处理处置为首要目标，按照统一确定的核价规则 and 市场化原则，严格审核成本构成，确定合理投资回报的价格范围，并由此确定调整价格的机制。利用好价格杠杆，可以有效推动污泥资源化产业的健康发展。相反，单纯就污泥补贴与经营者讨价还价将不利于污泥的最终无害化处理和处置。政府对污泥的出路始终负有最终责任。采取市场化的运作方式是为了提高运营效率，优化资源配置，而不是“少花钱多办事”。

上海市污水污泥处置技术指南与管理政策研究

张善发¹ 陈华¹ 屈强² 赵由才² 方海兰³ 朱南文⁴ 马士禹⁵

(1 上海市城市排水有限公司; 2 同济大学环境科学与工程学院; 3 上海市园林科学研究所 4 上海交通大学环境科学与工程学院; 5 上海华东师范大学化学系)

摘要: 在编制污泥处理处置专项规划和开展试验研究的基础上, 依据国家现行有关标准, 参考发达国家相关标准, 结合上海市实际情况, 提出了《上海市污水污泥处置技术指南与管理政策》框架; 按照污泥的特征和最终处置出路, 规定了污泥土地利用、填埋、焚烧和建材利用应该满足的技术要求和污染物控制标准, 对监测和记录频率提出了要求; 提出了上海市污水污泥管理政策。

关键词: 上海; 污水污泥; 处置指南; 管理政策

1. 概述

预计到今年第三季度, 上海市中心城区污水处理量 420 万吨/日左右, 每天产生污泥 700 吨(以干固体计)左右。在编制《上海市污泥处理处置专项规划》的基础上, 开展了试验研究和工程可行性研究, 后续工程建设将逐步展开。为了确保污泥“减量化、无害化、稳定化、资源化”目标的顺利实现, 依据国家现行有关标准, 参考发达国家相关标准, 结合上海市实际情况, 提出了《上海市污水污泥处置技术指南与管理政策》框架, 现将指南和管理政策作以简要介绍, 以供探讨。

2. 上海市污水污泥处置技术指南

2.1. 总则

2.1.1. 目的

本指南为贯彻《中华人民共和国环境保护法》, 防治污水污泥对上海市土壤、农作物、地面水、地下水的污染, 特制订本指南。

2.1.2. 适用范围

本指南适用于: 城市污水处理厂污泥。

2.2. 土地利用

2.2.1 土地利用方法及技术要求

污水污泥的土地利用主要包括: 园林绿化介质土; 经济作物用肥; 垃圾填埋场覆盖土和滩涂盐碱地改良土。

1) 园林绿化介质土

当污水污泥用于园林绿化介质土时, 应该满足表-1 所列的准入条件: 具体施用方法参照表-2

执行。作为绿化介质土，盆栽用时将污泥和土壤按一定比例拌均匀，最好堆置两天以上使用。绿地直接使用则在建成的土方上方按种植植物的种类均匀撒上一定量的污泥，然后结合整地翻入土内，使污泥和土壤均匀混合，浇少量水，过一段时间再种植。

表-1 污水污泥用于园林绿化介质土的准入条件

项 目	条 件
外观与嗅觉要求	比较疏松，无明显的恶臭。 有机质含量在 250g/Kg 以上； pH 在 6.5~8.0 之间
营养指标	水分含量≤30% 非毛管孔隙度≥15% 粒度：用于撒施有机肥，其粒度>10mm 含量≤10%
安全指标	污染指标符合 GB18918-2002 要求 病原体：蠕虫卵死亡率>95%、不能检出沙门氏菌等具有传染性的疾病。
腐熟度要求	种子发芽指数≥70%

2) 经济作物用肥

当污泥作为原料来制造有机肥并用于经济作物时，各项技术指标应符合表-3 要求。重金属指标不应该超过表-4 的标准。

表-2 污水污泥用于园林绿化介质土的技术要求

使用方法	技术要求
作为绿化栽培介质	<p>A 盆栽用：将污泥和土壤按一定比例拌均匀，有条件的堆置一段时间（最好两天以上，时间越长越好）。</p> <p>a)、作为育苗：用量控制在干重的 5%~10%； b)、肉质根或移栽苗带土少：用量控制在干重的 5%~10%； c)、移栽苗带土多或喜肥耐盐碱植物：用量控制在干重的 20%内，个别可用量到 30%。</p> <p>B 绿地直接使用：一般在绿地土方建成后，绿化种植前在土方上方均匀撒上</p>

污泥，然后结合整地翻入土内，使污泥和土壤均匀混合，有条件的可以在在污泥翻入土中后，浇少量水一方面使土壤和污泥充分混合，一方面降低污泥可能存在的盐害。有条件的工地在土方施入污泥后过一段时间再种植植物。

- a)、种植草坪或花卉：每平方米均匀撒污泥 6~12Kg 干污泥；
 - b)、种植小灌木：每平方米均匀撒污泥 12~24Kg 干污泥；
 - d)、乔木：可以在树穴的四周和底下施污泥，根据植株大小可施 10~80Kg 的干污泥。
- a)、污泥施用季节最好在秋天或冬天，在 6~7 月梅雨季节和炎热夏季尽量不用；
- 注意事项 b)、为避免污泥盐害，使用污泥时尽量不要大面积接触植物的根系；
- c)、污泥施用量要根据植物的不同习性，一般喜肥耐盐碱的植物可以增加用量，耐贫瘠的植物用量可以减少；苗期用量相对少；

表-3 污泥作为经济作物用肥准入条件

指标名称	指标要求
有机质含量	≥35%
总养分 (N+P ₂ O ₅ +K ₂ O) 含量	≥60g/Kg
水分 (游离水) 含量, %	≤32.0
PH 值	6.0~8.5
细度 (1.00-2.83mm), %	≥80
粒度 (1.00-8.00 mm) ,%	≥80

表-4 污泥作为经济作物用肥的重金属指标

指标名称	标准限值
镉 Cd	≤3mg/Kg
铬	≤50mg/Kg
砷	≤10mg/Kg
铅	≤20 mg/Kg
汞	≤2 mg/Kg
粪大肠菌值	10 ⁻¹
蛔虫卵死亡率	95-100%

3) 垃圾填埋场日覆盖土

将污泥作为垃圾填埋场日覆盖土必须首先对污泥进行改性，通过在污泥中掺入一定比例的泥土或矿化垃圾均匀混合并堆置 4 天以上来提高污泥的承载能力，消除其膨润持水性。

污泥作为日覆盖土进入填埋场必须符合表-5 的要求：

表-5 污水污泥作为垃圾填埋场日覆盖土的准入条件

项目	条件
含固率	<60%
有机质	<50%
臭度	<2 级（六级臭度）
渗透系数	<10 ⁻⁴ cm/s
蝇密度	施用后<5 只/笼·天

技术要求如下：

①日覆盖应实行单元作业，其面积应与垃圾填埋场当日填埋面积相当，用合乎表 1-3 要求的改性污泥进行覆盖。

②改性污泥应进行定点倾卸、摊铺、压实，覆盖层在经过压实后厚度应不小于 20cm，压实密度应大于 1000kg/m³。

③在污泥中掺入泥土或矿化垃圾时应保证混合充分，堆置时间不小于 4d，以保证混合材料的承载能力大于 50kPa。

④污泥入场用作日覆盖材料前必须对其进行监测。含有毒工业制品及其残物的污泥、含生物危险品和医疗垃圾的污泥以、含有毒药物的制药厂污泥及其他严重污染环境的污泥不能进入填埋场作为日覆盖材料，未经监测的污泥严禁入场。

4) 滩涂盐碱地改良土

污泥用于滩涂盐碱地改良时必须先经过稳定化处理，污染物控制指标按酸性土壤执行，用量应该适当减少。具体指标正在制定中，暂可参考园林绿化介质土和经济作物用肥执行。

2.2.2 污染物控制标准

重金属是限制污泥大规模土地利用的最重要因素，污泥土地利用的污染物控制标准执行《农用污泥中污染物控制标准》（GB4284-84）和城镇污水处理厂污染物排放标准（GB18918-2002）。结合上海市实际情况，污泥土地利用须满足表-6 污染物控制值规定。

2.2.3 特别说明

上海由于是冲积平原，本底土土壤的 pH 一般为碱性或强碱性，pH 一般在 8.0 以上，符合污泥一般适合应用于 pH6.8 以上的土壤要求，并且土壤质地粘重，土壤一般为黏土质类型，对污泥中有害物质的吸附能力较强。但是必须注意：污泥中的有害物质（盐分、重金属、有毒有机物等）随着污泥的土地利用进入土壤中，可能会对土壤—植物系统、地表水、地下水系统产生影响，造成环境与人类健康风险；另外，污泥中高含量的 N、P 可能对作物产生危害，如贪青早熟不抗病害等，所以污泥使用过程必须遵守污染物控制规范，根据需要确定污泥施用量，保存施用记录

表-6 上海市污泥土地利用污染物控制值

序号	控制项目	最高允许含量 (mg/kg)		最高累积污染负荷 (kg/亩) (相当国家两级土壤标准)
		在酸性土壤 上(pH<6.5)	在碱性土壤 上(pH>=6.5)	
1	总镉	5	20	0.60
2	总汞	5	15	1.0
3	总铅	300	1000	350
4	总铬	600	1000	250
5	总砷	75	75	25
6	总镍	100	200	60
7	总锌	2000	3000	300
8	总铜	800	1500	200
9	硼	150	150	6
10	石油类	3000	3000	120
11	苯并(a)芘	3	3	0.12
12	多氯代二苯并二恶英/多氯 代二苯并呋喃 (PCDD/PCDF 单位:ng 毒 性单位/kg 干污泥)	100	100	4
13	可吸附有机卤化物 (AOX) (以 Cl 计)	500	500	20
14	多氯联苯 (PCB)	0.2	0.2	0.008

①污泥应该经过稳定化和脱水处理，脱水后污泥含水率应该小于 80%。

②施用符合本标准污泥时，一般每年每亩用量不超过 2000kg（以干污泥计）。污泥中任何一项无机化合物含量接近于本标准时，连续在同一块土壤上施用，不得超过 20 年。含无机化合物较

少的石油化工污泥，连续施用可超过 20 年。在隔年施用，矿物油和苯并(a)芘的标准可适当放宽。但在任何一块土地上，累积污染负荷不允许超过表 6 的要求。

③对于同时含有多种有害物质而含量都接近本标准值的污泥，施用时应酌情减少用量。

④发现因施污泥而影响农作物的生长、发育或农产品超过卫生标准时，应该停止施用污泥和立即向有关部门报告，并采取积极措施加以解决。例如过磷酸钙、有机肥等物质控制农作物对有害物质的吸收，进行深翻或用客土法进行土壤改良等。

2.3 填埋

2.3.1. 填埋方法及技术要求

鉴于目前经济发展状况，污泥填埋在相当长的时间里还会存在。污泥填埋可采用建设污泥专用卫生填埋场的形式。在不具备建设污泥专用填埋场条件时，也可将污泥与垃圾混合后在原有城市生活垃圾填埋场填埋处理。该生活垃圾填埋场必须为卫生填埋场，卫生填埋场的具体建设标准可参考《城市生活垃圾卫生填埋技术规范》(CJJ17-2004)。采用混合填埋形式的污泥准入条件和技术要求可参考污泥专用卫生填埋场的技术标准，原则上，污泥必须进行稳定化、卫生化处理，并满足垃圾填埋场填埋土力学要求。

1) 污泥专用卫生填埋场建设标准

为避免对填埋场周边环境造成二次污染，符合卫生填埋的标准，污泥专用填埋场需要符合以下建设标准：

- i. 场底地基应是具有承载能力的自然土层或经过碾压、夯实的平稳层，不应因填埋污泥而使场底变形、断裂。场底应有纵、横向坡度。纵横坡度宜在2%以上，以利于渗滤液的导流。
- ii. 填埋场必须具备场底防渗系统，以防止对地下水的污染。不具备自然防渗条件的填埋场必须进行人工防渗。粘土类衬里（自然防渗）的填埋场，天然粘土类衬里的渗透系数不应大于 1.0×10^{-7} cm/s，场底及四壁衬里厚度不应小于2m；改良土衬里的防渗性能应达到粘土类防渗性能。
- iii. 当填埋场不具备粘土类衬里或改良土衬里防渗要求时，必须采用HDPE膜作为防渗层材料，膜的厚度宜为1.5 – 2.5 mm，膜的上、下应铺设保护层。
- iv. 填埋区防渗层上应铺设渗沥液导流系统，并应对收集的渗沥液进行处理。渗沥液导流系统及处理系统应包括集液盲沟、集液池、调节池、泵房和污水处理设施等。集液池、调节池容积应与填埋工艺、渗沥液产生量相匹配。
- v. 污泥填埋场所产生的气体量较大，因此必须加以控制和利用，防止填埋气体爆炸。填埋场应设气体导排设施，导排管应按地形分别设竖向、横向或横竖相连的排气道。

在填埋深度较大时宜设置多层导流排气系统。有条件回收利用填埋气体的填埋场，应设置填埋气体集中收集设施，并监测填埋气体成分及量的变化。填埋场区中，甲烷气体的含量不得超过5%；建（构）筑物内，甲烷气体含量不得超过1.25%。

2) 污泥专用卫生填埋场填埋污泥准入条件

污泥在专用填埋场中进行填埋时，必须首先进行改性，以提高其承载力，消除其膨润持水性，避免雨季时污泥含水率急剧增加，无法进行填埋作业。改性的方法可通过掺入矿化垃圾、黏土等调理剂，初步改性后的污泥应至少满足表-7中的建议值：

表-7 污泥在专用填埋场中填埋的准入条件（建议值）

项目	准入条件
含固率	大于40%
有机质	小于50%
渗透系数	大于 10^{-4} cm/s，以确保污泥在雨天不会出现明显的膨润持水现象

3) 埋工艺和设备配制

污泥填埋应服从“三化”（即减量化、无害化、资源化）的要求，实行充分混合（与矿化污泥）、单元作业、定点倾卸、均匀摊铺、反复压实和及时覆盖。污泥的压实密度应大于 $1.0\text{kg}/\text{m}^3$ ，每层污泥压实后，应采用粘土或人工衬层材料进行日覆盖，粘土覆盖层厚度应为20~30cm。

建设污泥专用填埋场，还需要选用合适的设备，以保障其顺利运行并尽可能降低运行费用，同时与填埋工艺相一致，它主要包括三个方面：①填埋作业，对污泥而言主要是混合、倾卸、摊铺、压实；②对土方工程而言，是每个单元填埋前的设施准备，包括覆盖土准备和覆盖作业，场地挖掘和土方平衡等工程；③对填埋后的再利用，主要是指堆肥和有机肥制作。可用于完成这些工作的设备包括搅拌机、履带拖拉机、推土机、压实机、挖土机、破碎机和吊车抓土机等。

4) 封场管理

污泥填埋场在达到设计使用寿命后应进行封场，封场工作应在填埋污泥上覆盖黏土或其他人工合成材料，黏土的渗透系数应小于 1.0×10^{-7} cm/s，厚度为20~30cm，其上再覆盖20~30cm的自然土作为保护层，并均匀压实。填埋场封场后还应覆盖植被，同时在保护层上铺设一层营养土层，其厚度根据种植植物的根系深浅而确定，一般不应小于20cm，总覆土应在80cm以上。

填埋场封场应充分考虑堆体的稳定性与可操作性、地表水径流、排水防渗、覆盖层渗透性和填埋气体对覆盖层的顶托力等因素，使最终覆盖层安全长效。填埋场封场坡度宜为5%。

2.3.2. 污染物控制标准

在建设和运行污泥填埋场过程中，如果严格按照卫生填埋场的标准进行，是不可能产生二次污染的。因此，卫生填埋是一种可靠、卫生和安全的生活垃圾处理方法。但由于地址条件的限制，

要找到一个各方面都合适的填埋场场址非常困难，填埋场在运行过程中总是会或多或少地对周围环境造成一定影响。因此，在污泥填埋处置中应尽量避免对污泥填埋场周边环境的大气、地下水、地表水体等造成二次污染，但由于目前国内尚没有污泥填埋场，具体污染控制标准可参考《生活垃圾填埋污染控制标准》(GB16889—1997)。

2.3.3. 特别说明

从宏观的角度来看，污泥专用填埋场也是一座规模庞大的生物反应器。从另一个角度来看，污泥在填埋场中填埋的过程实际上是一个多种微生物联合降解污泥（包括好氧与厌氧）的过程，在经过若干年（初步估计为 5 年）后污泥可达到稳定化，所形成的稳定化污泥可称为矿化污泥。矿化污泥可以开采和利用，适用范围包括农林用肥和园艺用肥。在进行终场规划时，也可以考虑矿化污泥的开采和填埋场的循环使用，以提高填埋场的填埋容量。因此，污泥专用卫生填埋场兼做污泥中转场是可行的。

2.4. 焚烧

2.4.1. 焚烧方法

污泥焚烧是一种高温热处理技术，它是以过量的空气与被处理的污泥在焚烧炉内进行氧化燃烧反应，使污泥中的全部有机质、病原体在 800~1200℃ 的高温下发生氧化、热解而被破坏。同时，污泥焚烧还能最大限度地减少污泥的体积，焚烧残渣仅为原有体积的 10% 左右（相对于含水率 75% 的污泥）。因此，污泥焚烧是一种可同时实现污泥无害化、减量化、资源化的处理技术。

当污泥自身的燃烧热值较高，满足污泥焚烧炉的基本准入条件时，可以采用焚烧处置。污泥焚烧工艺按照所焚烧污泥种类的不同可以分为两大类：一类是直接焚烧，即将脱水污泥直接送往焚烧炉焚烧；一类是干化焚烧，它是指将脱水污泥进行干化处理后再进行焚烧。

2.4.1.1 直接焚烧

直接焚烧工艺一般是指焚烧含水率为 75—80% 的脱水污泥。由于含水率这么高的污泥的低位热值通常很低，为了保证污泥的稳定燃烧，并对污泥含水率的波动具有一定的适应性，一般都需要在焚烧炉中掺入一定量的燃料（煤或油）以供辅助燃烧。直接焚烧工艺的燃烧效率和热效率一般较低，若采用直接焚烧工艺，以采用循环流化床为宜。

2.4.1.2 干化焚烧

相对于直接焚烧而言，干化焚烧的关键在于污泥在焚烧之前所进行的干化处理。干化可以提高污泥的低位热值，使污泥燃烧释放的热量足以提供加热其他污泥到达燃烧温度所需要的热量和发生燃烧反应所必须的活化能，因此，污泥干化焚烧一般不需要额外的辅助燃料，与燃用劣质煤工艺相近。污泥的干化工艺一般采用间接干化，温度较低，以防止污泥中的有机质分解。

2.4.2. 技术及污染物控制标准

2.4.2.1 污泥焚烧技术标准

1) 污泥焚烧厂选址原则

污泥焚烧厂选址应符合上海市城市发展总体规划和环境保护规划的规定，并符合大气污染防治、水资源保护、自然保护的要求。

2) 污泥焚烧厂的污泥准入条件

属于危险废物的污泥不能进入污泥焚烧厂焚烧，同时污泥的低位热值必须高于 3.6 kJ/kg。

表-8 污泥焚烧厂的污泥准入条件

项目	条件
低位热值	≥ 3.6 kJ/kg
有机汞	不得检出
汞及其化合物（以总汞计）	≤ 0.05 mg/L（浸出液的最高允许浓度）
铅（以总铅计）	≤ 3 mg/L（浸出液的最高允许浓度）
镉（以总镉计）	≤ 0.3 mg/L（浸出液的最高允许浓度）
总铬	≤ 10 mg/L（浸出液的最高允许浓度）
六价铬	≤ 1.5 mg/L（浸出液的最高允许浓度）
铜及其化合物（以总铜计）	≤ 50 mg/L（浸出液的最高允许浓度）
锌及其化合物（以总锌计）	≤ 50 mg/L（浸出液的最高允许浓度）
铍及其化合物（以总铍计）	≤ 0.1 mg/L（浸出液的最高允许浓度）
钡及其化合物（以总钡计）	≤ 100 mg/L（浸出液的最高允许浓度）
镍及其化合物（以总镍计）	≤ 10 mg/L（浸出液的最高允许浓度）
砷及其化合物（以总砷计）	≤ 1.5 mg/L（浸出液的最高允许浓度）
无机氟化物（不包括氟化钙）	≤ 50 mg/L（浸出液的最高允许浓度）
氰化物（以CN计算）	≤ 1.0 mg/L（浸出液的最高允许浓度）

3) 焚烧炉技术要求

①焚烧炉技术性能要求如下表所示：

表-9 焚烧炉技术性能指标

项目	烟气出口温度	烟气停留时间	焚烧炉渣热灼减量	焚烧炉出口烟气中
	/°C	/s	/%	氧含量/%
指标	≥ 850	≥ 2	≤ 5	6-12
	≥ 1000	≥ 1	—	—

② 焚烧炉烟囱技术要求

焚烧炉烟囱高度应按环境影响评价要求确定，但不能低于下表规定的高度。

表-10 焚烧炉烟囱高度要求

处理量/(t/d)	烟囱最低允许高度/m
<100	25
100~300	40
>300	60

注：在同一厂区内如同时有多种垃圾焚烧炉，则以各焚烧炉处理量总和作为评判依据。

焚烧炉烟囱周围半径 200m 距离内有建筑物时，烟囱应高出最高建筑物 3m 以上，不能达到该要求的烟囱，其大气污染物排放限值应按表-11 规定的限值严格 50% 执行。由多台焚烧炉组成的污泥焚烧厂，烟气应集中到一个烟囱排放或采用多筒集合式排放。焚烧炉的烟囱或烟道应按 GB/T16157 的要求，设置永久采样孔，并安装采样平台。污泥焚烧炉除尘装置必须采用袋式除尘器。

2.4.2.2 污泥焚烧污染物控制标准

1) 焚烧炉大气污染物排放限值

表-11 焚烧炉大气污染物排放限值

序号	项目	单位	数值含义	限值*
1	烟尘	mg/m ³	测定均值	65
2	烟气黑度	林格曼黑度	测定值**	I 级
3	一氧化碳	mg/m ³	小时均值	150
4	氮氧化物	mg/m ³	小时均值	400
5	二氧化硫	mg/m ³	小时均值	260
6	氯化氢	mg/m ³	小时均值	75
7		mg/m ³	小时均值	0.1
8	汞及其化合物	mg/m ³	测定均值	0.1
9	镉及其化合物	mg/m ³	测定均值	1.0
10	铅及其化合物	mg/m ³	测定均值	1.0
11	砷、镍及其化合物	TEQ mg/m ³	测定均值	0.5
	二恶英类		测定均值	

注：* 本表规定的各项标准限值，均以标准状态下含 11%O₂ 的干烟气作为参考值换算。

** 烟气最高黑度时间，在任何 1h 内累计不得超过 5min。

2) 污泥焚烧厂恶臭厂界排放限值

氨、硫化氢、甲硫醇和臭气浓度厂界排放限值根据污泥焚烧厂所在区域，分别按照 GB14554 表 1 相应级别的指标值执行。

3) 污泥焚烧厂工艺废水排放限值

污泥焚烧厂工艺废水必须经过废水处理系统处理，处理后的水应优先考虑循环再利用，必须排放时，废水中污染物最高允许排放浓度按 GB8978 执行。

4) 焚烧残余物的处置要求

焚烧炉渣必须与除尘设备收集的焚烧飞灰应分别收集、贮存和运输。

焚烧炉渣按一般固体废物处理，焚烧飞灰应按危险废物处理。其他尾气净化装置排放的排放的固体废物应按 GB5085.3 危险废物鉴别标准判断是否属于危险废物，如属于危险废物，则按危险废物处理。

5) 污泥焚烧厂的噪声控制限值按 GB12348 执行。

2.4.3. 特别说明

污泥焚烧产生的热能应尽量回收利用，以减少热污染。污泥焚烧应采用先进和可靠的技术，对焚烧过程中产生的烟气、污水、炉渣、飞灰、臭气和噪声等进行严格控制和处理，防止对环境的污染。污泥焚烧产生的炉渣经鉴别不属于危险废物的，可回收利用或直接填埋，属于危险废物的炉渣和飞灰必须作为危险废物处置。

2.5 建材利用

2.5.1 建材利用方法

2.5.1.1 水泥原料

污泥无机部分的化学特性与水泥生产所用的原料基本相似，污泥焚烧灰中，一般有80%以上的矿物质是水泥熟料的基本成分(CaO, SiO₂, Al₂O₃ 和 Fe₂O₃)。由污泥制造的水泥，与普通硅酸盐水泥相比，在颗粒度、比重、波索等方面基本相似，而在稳固性、膨胀密度、固化时间方面较好。

利用水泥回转窑处理城市污水厂污泥,不仅具有焚烧法的减容、减量化特征,且燃烧后的残渣成为水泥熟料的一部分,是一种较好的污泥处理处置方法。

2.5.1.2 陶粒烧结

城市污泥产量巨大，将其用于陶粒生产可取得巨大的经济效益和环境效益。污泥在砖窑中经过1050—1100 的高温处理，其低密度、热绝缘性能、抗高温性能以及抗压强度完全可与普通的轻质材料相媲美甚至优于普通的轻质材料。

2.5.1.3 砖材

污泥制砖可直接使用干化污泥或污泥焚烧灰。结果表明，经过适当的前处理,降低污泥中的油脂、有机物等含量,提高砖块中的水泥比例,可使试验砖块的物理性能检测合格。

2.5.2 技术及污染物控制标准

2.5.2.1 有毒有害物质的控制

污泥焚烧灰中含有一些有毒有害的污染物，如重金属、dioxin、呋喃等，直接利用会对人类健康和环境造成不利影响。我国建材中重金属的控制一般依据《有色金属工业固体废弃物污染控制标准》(GB5085—85)，重金属浸出率一般按 GB5086—85《有色金属工业固体废物浸出毒性试验方法标准》进行测试。目前尚无污泥、城市焚烧灰渣在建材利用中重金属限制的规范或标准，因此，污泥灰渣中重金属可依据 GB5085—85 进行测定，其含量限制可参考欧盟标准。考虑到重金属在烧结中的固定化作用导致其溶出率很低，结合我国污水厂污泥中对人体危害较小的铜、锌含量较高的实际情况，建议对其可适当放宽标准。

污泥建材利用中还应考虑其他污染物如放射性污染物、有机污染物等。放射性污染物可根据《建筑材料用工业废渣放射性物质限制标准》(GB 6763-86)执行。由于污泥制建材过程中，常需进行高温处理，按日本有关方面研究，有机污染物如二恶英等含量很低，基本上可不予考虑。

表-12 污泥建材利用重金属浸出 (GB5085—85) 限制标准
及灰渣中限制建议值

	浸出液最高允许浓度 (mg/L)	灰渣中允许的最高含量建议值 (mg/Kg)	
		Z0	Z1
Hg	0.05	0.2	2.0
Cd	0.3	0.6	2.0
As	1.5	20	30
Cr	1.5 (Cr6-)	50	100
Pb	3.0	20	200
Cu	50	100	1000
Zn	50	300	1000
Ni	25*	40	200
Be	0.1*	—	—
F	50	—	—

注：* 为试行标准；Z0 建材可应用于各种场合；Z1 建材应用于特殊场合，如公园、工业区；Z2 建材应用于具有严格环境条件的场合，如地下水防护等。

2.5.2.2 理化性能

以污泥为原料制作成的建材，除上述提及的污染物需要按一定的规范进行控制外，还需按建材方面的有关规范和标准进行衡量。在砖块制作上，可遵循《中华人民共和国国家标准烧结普通砖》(GB5101-93)，其主要衡量指标有抗压强度、抗折强度、吸水率、抗风化性能、干质量损失率等，而对原料并无化学组成上的要求。在陶粒制作上，可循的标准是《超轻陶粒和陶砂》(JC487-92)，

该标准对密度级别、质量等级、最大粒径作出了要求；如果用污泥替代混凝土中的砂，则应遵循《硅酸盐建筑制品用砂》(JC / T622—1996) 标准 (表 13 所示)。在水泥制作上，我国也有相应的标准即《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB175-92) 可供参考 (表 14 所示)。

表- 13 硅酸盐建筑制品用砂标准

项目		等级		
		优等品	一等品	合格品
SiO ₂ 质量分数, %	≥	85	75	65
K ₂ O+NaO 质量分数, %	≤	1.5	3.0	5.0
有机物	≤		0.5	1.0
云母质量分数, %	≤		1.0	2.0
硫化物与硫酸 (以 SO ₃ 计) %	≤	3.0	5.0	8.0
泥质量分数, %	≤		8	
含水率, %			无	
夹杂物 (树皮、草根等)	≤		0	0
PSD				
2.5-5.0mm (圆孔) %	≥		10	10
15-2.5 mm (方孔) %	≤		60	45
0.16-1.25mm (方孔) %		30	45	
<0.16 (方孔)				

表 14 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥有关标准要求

	不溶物	MgO	SO ₃ ²⁻	LOI	细度	凝结时间	含碱量 Na ₂ O+ 0.658K ₂ O
P.	≤0.75%	≤5.0%(若 经压蒸安 定性试验 合格, ≤6.0%	≤3.5%	≤3.0%	硅酸盐水泥比表面积 大于 300m ² /kg,80μm 方孔筛筛余不得超过	45— 390min	≤0.6%
P.	≤1.50%			≤3.5%	10.0%。		

注：硅酸盐水泥分两种类型，不参加混合材料的称 I 型硅酸盐水泥，代号 P. I。在硅酸盐水泥熟料粉磨时参加不超过水泥重量 5% 石灰石或粒化高炉矿渣混合材料的称 II 型硅酸盐水泥，代号 P. II。

2.5.3 特别说明

污泥中重金属含量普遍偏高，若采用欧盟标准，大部分污水厂的污泥不能进行建材化利用，但是，从目前其他国家建材中有毒有害物质的浸滤效果看，污泥制作成建材的安全性比较高。

2.6 监测和记录

应该严格按照国家相关标准和规定进行监测。

污泥的土地利用执行《农用污泥中污染物控制标准》(GB4284-84)和城镇污水处理厂污染物排放标准(GB18918-2002)。

污泥的填埋参照执行《生活垃圾填埋污染控制标准》(GB16889—1997)。

污泥的焚烧参照执行《生活垃圾焚烧污染控制标准》和本文 2.4 节中的具体要求。

污泥的建材利用参照本文 2.5 节的内容执行。

在有可能造成危害时，有必要加强监测频率。

污泥土地利用过程中应该详细记录污泥施用的时间、地点、污泥中重金属浓度、污泥中病原体数量、污泥施用量、累积施用量、施用人；污泥填埋过程中应该详细记录污泥的重金属浓度和病原体数量；污泥焚烧过程中应该详细记录焚烧炉高度、焚烧炉内实际温度、污泥中重金属的浓度、空气净化设备的运行情况；建材中的重金属浓度，以上所有记录至少保存 5 年。

3. 管理政策

3.1 污泥运输暂行管理办法

第一条 收集、运输的污泥必须符合下列规定：

(一) 污泥应进行稳定化处理，稳定化处理后的污泥应达到表 15 的规定。

表15 污泥稳定化控制指标

稳定化方法	控制项目	控制指标
厌氧消化	有机物降解率 (%)	>40
好氧消化	有机物降解率 (%)	>40
	含水率 (%)	<65
好氧堆肥	有机物降解率 (%)	>50
	蠕虫卵死亡率 (%)	>95
	粪大肠菌群菌值	>0.01

(二) 污泥应进行污泥脱水处理, 脱水后污泥含水率应小于 80%。

第二条 从事污泥收集、运输的单位和个人必须遵守下列规定:

(一) 向市政管理行政部门申请办理运输车辆准运证件。

(二) 运输污泥时, 必须使用有准运证件的运输车辆。

(三) 设专人负责运输车辆的管理, 制定运输车辆管理责任制度并组织实施, 加强对驾驶人员的教育和管理。

(四) 建立运输车辆使用、维修、检查制度, 加强对运输车辆的日常检查和维修, 严禁使用不符合条件的车辆运输。

(五) 运输车辆不得超量装载。

(六) 运输车辆驶出装现场前, 必须将车辆槽帮和车轮冲洗干净, 不得车轮带泥行驶。

(七) 运输车辆必须按照市政管理行政部门依法批准的运输线路、时间、装卸地点运输和卸倒。

(八) 运输污泥的车辆必须密封、不得沿途泄漏。

(九) 运输时发现自身有泄漏的, 必须及时清扫干净。

第三条 运输车辆必须符合下列规定:

(一) 有市政管理行政部门核发的准运证件。

(二) 运输污泥的车辆, 四周槽帮牢固可靠, 无破损, 挡板严密。

(三) 运输污泥的车辆应当安装符合技术标准的运输装置, 并保持密封完好。

(四) 运输污泥的车辆, 必须使用不渗漏的容器装载运输。

第四条 运输车辆的使用单位必须遵守下列规定:

(一) 使用有准运证件的车辆从事污泥的运输。

(二) 与运输单位签订防止车辆运输泄漏协议书, 对运输单位和运输车辆进行督促检查。

第五条 对违反本规定的, 由城市管理综合执法组织给予处罚:

(一) 使用无准运证件或者不符合规定要求的运输车辆从事运输的, 责令改正, 并处 500 元以上 3000 元以下罚款。

(二) 运输污泥的车辆未密封、泄漏的, 责令清除, 并处 500 元以上 3000 元以下罚款, 情节严重的, 处 3000 元以上 3 万元以下罚款。

(三) 运输污泥的车辆不符合规定技术标准, 造成泄漏的, 责令清除, 并处 500 元以上 3000 元以下罚款, 情节严重的, 处 3000 元以上 3 万元以下罚款。

(四) 运输车辆沿途泄漏的, 责令清除, 并处 500 元以上 3000 元以下罚款, 情节严重的, 处 3000 元以上 3 万元以下罚款。

(五) 运输车辆车轮带泥行驶的, 责令改正, 并处 500 元以上 3000 元以下罚款。

对于道路上泄漏物, 当事人拒不清除或者没有条件清除的, 城市管理综合执法组织可以代为委托市容环境卫生专业作业企业代为清除, 所需费用由当事人承担, 对不支付费用的, 可以依法申请人民法院执行。

第六条 公安交通管理部门应当配合城市管理综合执法组织对车辆运输泄漏的查处。

第七条 公安交通管理部门对运输车辆运输途中泄漏的, 可对驾驶员吊扣一个月以下驾驶证。

第八条 任何单位和个人对运输车辆泄漏的行为有权举报。经查证属实的, 有关部门应当给予举报单位和个人表扬和奖励。

第九条 城市管理综合执法组织的工作人员应当认真履行职责, 加强执法。对玩忽职守、滥用职权、徇私舞弊的, 或者因执法不严而使其责任区内运输车辆泄漏现象严重的, 由其所在单位或者上级主管机关给予行政处分。

3.2. 污泥处理处置暂行管理办法

3.3. 污泥处理处置特许经营暂行管理办法

第一条 为了加快推进污泥处理处置的市场化, 规范污泥处理处置特许经营活动, 促进污泥处理处置健康发展, 根据国家有关法律、法规, 制定本办法。

第二条 本办法所称污泥处理处置特许经营, 是指政府按照有关法律、法规规定, 通过市场竞争机制选择污泥处理处置投资者或者经营者, 明确其在一定期限和范围内经营污泥处理处置相关业务。

第三条 实施污泥处理处置特许经营, 应当遵循公开、公平、公正和公共利益优先的原则。

第四条 参与特许经营权竞标者应当具备以下条件:

- (一) 依法注册的企业法人;
- (二) 有相应的注册资本金和设施、设备;

- (三) 有良好的银行资信、财务状况及相应的偿债能力;
- (四) 有相应的从业经历和良好的业绩;
- (五) 有相应数量的技术、财务、经营等关键岗位人员;
- (六) 有切实可行的经营方案;
- (七) 地方性法规、规章规定的其他条件。

第五条 市主管部门应当依照下列程序选择投资者或者经营者:

- (一) 提出污泥处理处置特许经营项目, 报市人民政府批准后, 向社会公开发布招标条件, 受理投标;
- (二) 根据招标条件, 对特许经营权的投标人进行资格审查和方案预审, 推荐出符合条件的投标候选人;
- (三) 组织评审委员会依法进行评审, 并经过质询和公开答辩, 择优选择特许经营权授予对象;
- (四) 向社会公示中标结果, 公示时间不少于 20 天;
- (五) 公示期满, 对中标者没有异议的, 经直辖市人民政府批准, 与中标者(以下简称“获得特许经营权的企业”)签订特许经营协议。

第六条 特许经营协议应当包括以下内容:

- (一) 特许经营内容、区域、范围及有效期限;
- (二) 产品和服务标准;
- (三) 价格和收费的确定方法、标准以及调整程序;
- (四) 设施的权属与处置;
- (五) 设施维护和更新改造;
- (六) 安全管理;
- (七) 履约担保;
- (八) 特许经营权的终止和变更;
- (九) 违约责任;
- (十) 争议解决方式;
- (十一) 双方认为应该约定的其他事项。

第七条 市主管部门应当履行下列责任:

- (一) 协助相关部门核算和监控企业成本, 提出价格调整意见;
- (二) 监督获得特许经营权的企业履行法定义务和协议书规定的义务;
- (三) 对获得特许经营权的企业的经营计划实施情况、服务的质量以及安全生产情况进行监督;

- (四) 受理公众对获得特许经营权的企业投诉;
- (五) 向市政府提交年度特许经营监督检查报告;
- (六) 在危及或者可能危及公共利益、公共安全等紧急情况下, 临时接管特许经营项目;
- (七) 协议约定的其他责任。

第八条 获得特许经营权的企业应当履行下列责任:

- (一) 科学合理地制定企业年度生产计划;
- (二) 按照国家安全生产法规和行业安全生产标准规范, 组织企业安全生产;
- (三) 履行经营协议, 为社会提供足量的、符合标准的产品和服务;
- (四) 接受市主管部门对产品和服务质量的监督检查;
- (五) 按规定的将中长期发展规划、年度经营计划、年度报告、董事会决议等报市主管部门备案;
- (六) 加强对生产设施、设备的运行维护和更新改造, 确保设施完好;
- (七) 协议约定的其他责任。

第九条 特许经营期限应当根据行业特点、规模、经营方式等因素确定, 最长不得超过 30 年。

第十条 获得特许经营权的企业承担政府公益性指令任务造成经济损失的, 市政府应当给予相应的补偿。

第十一条 在协议有效期限内, 若协议的内容确需变更的, 协议双方应当在共同协商的基础上签订补充协议。

第十二条 获得特许经营权的企业确需变更名称、地址、法定代表人的, 应当提前书面告知市主管部门, 并经其同意。

第十三条 特许经营期限届满, 市主管部门应当按照本办法规定的程序组织招标, 选择特许经营经营者。

第十四条 获得特许经营权的企业在协议有效期内单方提出解除协议的, 应当提前提出申请, 市主管部门应当自收到获得特许经营权的企业申请的 3 个月内作出答复。在市主管部门同意解除协议前, 获得特许经营权的企业必须保证正常的经营与服务。

第十五条 获得特许经营权的企业在特许经营期间有下列行为之一的, 市主管部门应当依法终止特许经营协议, 取消其特许经营权, 并可以实施临时接管:

- (一) 擅自转让、出租特许经营权的;
- (二) 擅自将所经营的财产进行处置或者抵押的;
- (三) 因管理不善, 发生重大质量、生产安全事故的;
- (四) 擅自停业、歇业, 严重影响到社会公共利益和安全的;

(五) 法律、法规禁止的其他行为。

第十六条 特许经营权发生变更或者终止时，市主管部门必须采取有效措施保证市政公用产品供应和服务的连续性与稳定性。

第十七条 市主管部门应当在特许经营协议签订后 30 日内，将协议报上一级市主管部门备案。

第十八条 在项目运营的过程中，市主管部门应当组织专家对获得特许经营权的企业经营情况进行中期评估。

评估周期一般不得低于两年，特殊情况下可以实施年度评估。

第十九条 市人民政府有关部门按照有关法律、法规规定的原则和程序，审定和监管企业产品和服务价格。

第二十条 未经市人民政府批准，获得特许经营权的企业不得擅自停业、歇业。

获得特许经营权的企业擅自停业、歇业的，市主管部门应当责令其限期改正，或者依法采取有效措施督促其履行义务。

第二十一条 市主管部门实施监督检查，不得妨碍获得特许经营权的企业正常的生产经营活动。

第二十二条 市主管部门应当建立特许经营项目的临时接管应急预案。

对获得特许经营权的企业取消特许经营权并实施临时接管的，必须按照有关法律、法规的规定进行，并召开听证会。

第二十三条 社会公众对污泥处理处置特许经营享有知情权、建议权。

市人民政府应当建立社会公众参与机制，保障公众能够对实施特许经营情况进行监督。

第二十四条 政府建设主管部门应当加强对污泥处理处置特许经营活动的监督检查，及时纠正实施特许经营中的违法行为。

第二十五条 对以欺骗、贿赂等不正当手段获得特许经营权的企业，市主管部门应当取消其特许经营权，被取消特许经营权的企业在三年内不得参与污泥处理处置特许经营竞标。

第二十六条 市主管部门或者获得特许经营权的企业违反协议的，由过错方承担违约责任，给对方造成损失的，应当承担赔偿责任。

第二十七条 市主管部门及其工作人员有下列情形之一的，由对其授权的市人民政府或者监察机关责令改正，对负主要责任的主管人员和其他直接责任人员依法给予行政处分；构成犯罪的，依法追究刑事责任：

- (一) 不依法履行监督职责或者监督不力，造成严重后果的；
- (二) 对不符合法定条件的竞标者授予特许经营权的；
- (三) 滥用职权、徇私舞弊的。

3.4 关于推进污泥资源化利用的若干政策

第一条 为了加快推进污泥资源化利用的发展,规范污泥资源化利用经营活动,促进污泥资源化利用产业的健康发展,根据国家有关法律、法规,制定本办法。

第二条 坚持污泥的资源化利用为首要目标的方针,树立“泥水并重”的观念。实现污泥的稳定化、减量化、无害化处理处置与资源化利用。

第三条 污泥资源化利用实行与污水处理厂设施同步规划、同步设计、同步施工、同步验收、同步运营和捆绑招标的政策,切实把“泥水并重”落到实处。

第四条 把污泥资源化放在首位,坚持污泥综合处理处置的发展方向。根据不同工艺,鼓励生物资源化,推荐其他方式的资源化,限制生污泥填埋、非标外运、排放和禁止净泥直排。

第五条 充分发挥社会主义市场机制作用,把污泥资源化利用的投资、建设、运行推向市场,引入竞争机制,鼓励国外、境外和社会投资主体多元化。

第六条 加大政策扶持力度,加快上海污泥资源化利用的发展。

(一) 各级政府要加大投入力度,市财政每年应安排 xxx 万元专项资金,区县财政每年应安排 xxx 万元专项资金,用于制定污泥资源化利用专业规划、政策研究、技术进步及前期工作的补贴等。

(二) 在开征污水处理费的同时明确将污泥的处理处置费用纳入污水处理费支出范围,单独核算。

(三) 要建立与完善污泥处理处置费用的核算办法,鼓励降低运行成本,提高经济效益。污泥资源化利用产品的市场销售收入可按适当的比例弥补污泥处理处置运营补贴费用的不足。

(四) 政府鼓励城市园林绿化使用污泥资源化利用产品,同等条件下优先采购。

(五) 鼓励污水、污泥的资源化利用,生产用电费按民用价格缴纳,其运营、产品销售减免有关税赋。

(六) 政府对新建城市污水处理厂污泥资源化利用设施及原有污水处理厂的污泥处理处置设施的改造采取行政划拨方式提供项目建设用地。

第七条 完善制度,加强政府和行业监管。

(一) 承担本市相应污泥资源化利用建设、运营、维护业务的,必须持有政府行政管理部门办法的相应的资质或基本条件证书。

(二) 有关政府主管部门核定的污泥处处置费用应在财政局设立专户,独立核算,专款专用于城市污泥资源化利用的建设、运营、维护。

(三) 各级政府要将征收的城市基础设施维护费和住宅市政配套费的三分之一资金用于污水管网建设和建立城市污水处理项目补偿基金,用于补偿污水处理和污泥处理处置费用的不足。

(四) 加强对污泥资源化利用设施的建设、运营市场化。根据污泥资源化利用设施的产业政策, 加强对污泥资源化利用设施项目管理, 监督污泥资源化利用设施建设、运营市场化过程中操作程序的合法性, 维护公正、公平、公开的市场竞争环境。

(五) 建立市场准入机制。承担城市污泥资源化利用设施特许经营的企业, 其注册资本不低于承包设施年运行总成本的 50%, 特许承包经营期一般不超过 10 年, 特许经营期或承包运营期满后重新招标。获得污泥资源化利用设施运营权的企业, 在合同有效期内其运营权转让必须得到资产所有者同意, 运用市场化方式进行。

(六) 加强污泥处置的监控。不允许将未经稳定化处理的污泥外运填埋。污泥填埋场, 必须严格执行国家和地方标准, 加强对场地选择、防漏措施、渗沥液与填埋气体收集与处理、环境影响和安全进行检查和监控。

(七) 严格监管污泥资源化利用及其终端产品应用的全过程。政府主管部门除了制定相应的鼓励政策外, 还应该对其资源化利用全过程加强监管, 以保证不因资源化利用而造成二次污染或者危害。

(八) 建立污泥动态信息收集上报系统, 包括各个污泥源的产生量、中间环节的处理处置量以及终端土地利用情况, 形成一系列数据报表及数据库, 为数字化管理提供信息基础; 在现有管理办法基础上, 逐步建立基于污泥监测、检查、监督、执法的相关地方法规、条例、标准、制度等政策体系。

(九) 市政府有关部门要密切配合, 各司其职, 逐步规范城市污泥资源化利用产业化管理。

4. 总结

许多发达国家已经对污泥的处置制定了法律法规, 对污泥的标准、使用地点的选择、水源的保护、病原菌的控制、重金属的允许施用量和运输等都作出了相应的规定, 目前, 我国相关法律法规还不完善, 根据自身情况, 上海市起草了《上海市污水污泥处理处置指南与管理政策》, 本文简要介绍了总体思路和框架, 有待于在科学研究指导下进一步完善。

无剩余污泥水解酸化法处理生活小区污水试验研究

韩洪军、徐春艳、马文成
(黑龙江哈尔滨工业大学市政环境工程学院)

摘要: 随着城市生活小区污水排放量的增加,产生的剩余污泥量也在增多,用于剩余污泥处理的投资和运行费用占总投资和总运行费用的比例较高,给生活小区污水处理应用带来一些困难。文中采用无剩余污泥水解酸化法处理生活小区污水,将中温厌氧酸化器和好氧生化系统组成一个循环系统,剩余污泥经过厌氧—好氧不断变化的历程,好氧微生物和厌氧微生物不断的死亡并被降解。试验证明,反应器内温度控制在 34℃,水力停留时间为 1.5 天, pH 值在 5.5~6.0 之间对酸化反应器运行有利,可以减少或不排放剩余污泥量,同时对酸化反应器的设计和有效控制等方面进行了探讨。

关键词: 生活小区污水; 水解酸化; 酸化反应器

中图分类号: X703 文献标识码: A

Experimental Research on Treatment of Housing Estate Wastewater by Non-Residual Sludge Hydrolytic Acidification Process

Han Hong-jun, Xu chun-yan, Ma Wen-cheng
(School of Municipal & Environmental Engineering
Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: With the increasing of the housing estate sewage quantity, residual sludge quantity is increasing at the same time. The proportion that investment and operation cost used for treatment of residual sludge have is higher in total investment and operation cost. That brings some difficulties in treatment of housing estate sewage. In this paper, the non-residual sludge hydrolytic acidification process is taken to treat housing estate sewage. This cycle system is composed of medium-temperature anaerobic acidification reactor and aerobic biosystem. Aerobic and anaerobic microorganism died and is degraded continuously through a variable anaerobic-aerobic process. Test shows that operation of acidification reactor has better effect under condition of temperature 34℃, HRT 1.5 day, PH 5.5~6.0. Residual sludge can be decreased or zero emission. In this paper design and effective control of acidogenesis reactor are also discussed.

Key words: housing estate Wastewater; hydrolytic acidification; acidification reactor

0. 前言

随着城市生活小区的日益发展,生活小区的规模不断扩大,生活小区污水排放量也越来越多。城市生活小区的污水中主要含有 COD、BOD、悬浮物、氨氮和磷等污染物,生活小区污水的 COD

含量平均在 220~400mg/L, BOD 为 140~300mg/L, 悬浮物为 200~400mg/L, PH 值为 6~9, 属低浓度污染的污水, 可生化性较好。

目前国内采用生化处理方法处理生活小区污水, 处理效果较好, 但多数生化处理方法产生的剩余污泥量多, 用于剩余污泥处理的投资和运行费用占总投资和总运行费用的比例较高, 给实际应用带来一些困难。在这种形势下, 寻求一种处理成本低, 运行效果好, 操作简单, 易于管理, 剩余污泥排放量少的处理工艺正引起人们的广泛注意。在这方面, 我们作了比较大胆的尝试, 希望能给生活小区污水处理工程提供可借鉴的处理工艺。

1. 废水来源及水质水量

废水取自哈尔滨市生活小区的生活污水, 生活污水经过化粪池排入城市排水管道排放。其污水水质见表 1。

表 1 生活小区污水水质指标

水质指标	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	PH	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)
变化范围	250~400	170~300	210~380	6~8	25~35	1~4
平均值	320	195	280	7.2	28	2.1

处理后出水水质执行国家《污水综合排放标准》(GB8978-1996)中的一级标准: COD=60mg / L, BOD=20mg / L, SS=20mg / L。

2. 工艺流程试验

采用无剩余污泥水解酸化工艺流程如图 1, 生活污水在集水池内贮存, 然后用泵提升至水解酸化池内水解酸化, 将大分子有机物水解酸化成小分子有机物, 将大部分不溶性有机物溶解成为溶解性有机物, 为接触氧化处理创造条件^[1]。水解酸化池出水进入接触氧化池, 依靠好氧微生物吸附降解水中的有机物, 出水经二沉池泥水分离后排放。接触氧化池产生的剩余污泥排入污泥水解酸化器, 进行中温厌氧酸化, 然后回流进入水解酸化和接触氧化系统继续降解, 达到剩余污泥全部系统内循环降解不外排的目的。

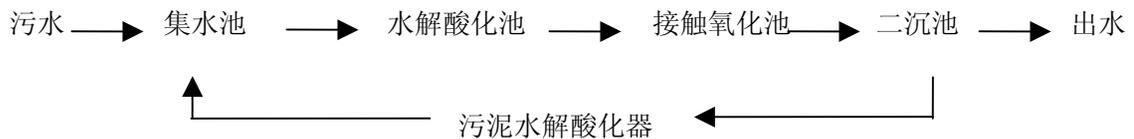


图 1 工艺流程示意图

3. 试验与分析

3.1 水解酸化池试验

水解酸化池的污泥取自天津市东郊污水处理厂的消化污泥, 污泥表观呈黑色, 含水率在 75~

80%。接种污泥投入后第二天开始少量间歇进水并逐步增大进水负荷,调节进水 PH 值维持在 6.0~6.5 之间,控制水解酸化池溶解氧在 0.1~0.3mg/L,接种污泥在兼氧条件下降解有机物。25 天后,监测水解酸化池的污泥沉降比达到 35~40%,微生物处于快速增殖阶段,微生物增长曲线图如 2。整个水解酸化池污水呈黑灰色,有特殊水解酸味,说明水解酸化阶段已开始进行,镜检时菌胶团呈不规则状,有少量豆形虫存在,水解酸化池培养驯化菌种已完成。

3.2 接触氧化池试验

随着水解酸化池的污泥量增加,一部分污泥随出水流入接触氧化池,接触氧化池内按 BOD:氮:磷为 100:5:1 的比例向池内投加氮磷营养物,根据污泥沉降比增减变化不断调整污泥龄。28 天后,监测接触氧化池污泥沉降比增长至 15~20%。镜检发现接触氧化池内填料上微生物种类丰富,大量存在着活性的菌胶团、钟虫及轮虫,组成良好的生物相系统,脱落的生物膜结构致密良好,沉降速度快,泥水迅速分离,混合液经泥水分离后的上清液清澈透明,水质良好,说明接触氧化池的生物相已经适应处理生活小区污水,接触氧化池培养驯化菌种已完成。

3.3 污泥水解酸化器试验

污泥水解酸化器实际上就是两相厌氧消化中的产酸段反应器^[2],剩余污泥在产酸菌作用下转化为单糖、氨基酸、乙酸等。经过一系列水解酸化反应再返回集水池继续好氧处理。水解酸化器的搅拌采用水泵混合搅拌,污泥由水解酸化器上部抽出,从下部送入进行搅拌,使酸化液充分混合。水解酸化器在试验中采用 34℃ 中温酸化,污泥的停留时间与污泥的酸化程度直接相关,一般水力停留时间为 0.8~2 天之间,试验中确定为 1.5 天,并留有调节余地。

水解酸化器的运行效果与酸化液的 PH 值直接相关,试验中将污泥量、污泥停留时间和温度等因素固定,改变水解酸化液的 pH 值,得出水解酸化液的 pH 值与水解酸化程度的关系曲线如图 4,从图 4 可知,水解酸化液的 pH 值在 5.5~6.0 之间对酸化有利,运行中可通过调节污泥投配量和水力停留时间来改变水解酸化液的 PH 值。

3.4 处理结果

无剩余污泥水解酸化法处理生活小区污水的试验表明,经处理后的出水符合《污水综合排放标准》的要求。COD 去除率为 90%,BOD 去除率为 95%,SS 去除率为 96%,见表 2。接触氧化池产生的剩余污泥进入污泥水解酸化器酸化处理,然后回流入系统内循环水解酸化降解,基本无剩余污泥排出。

表 2 处理结果

水质指标	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	PH	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)

标						
变化范围	28~49	7.8~12	6.5~12.5	6.8~7.4	12~21	0.3~0.7
平均值	38	9.9	11	7.1	13	0.5

3.5 结果分析

常规的生化处理系统中，产生的剩余污泥往往是单独处理的，使污泥处理费用较高。无剩余污泥水解酸化系统中的污泥水解酸化器与水解酸化、接触氧化处理系统构成了一个内循环系统，水解酸化器的水解酸化污泥返回集水池重新进入生化系统处理，补充生化系统内的水解酸化池活性污泥增长缓慢甚至负增长现象，保证水解酸化池有足够的活性污泥。

污泥水解酸化器对生化系统运行的重要影响是系统内的微生物经历一个厌氧—好氧不断变化的历程，水解酸化器内呈厌氧环境，微生物在水解酸化器内经历厌氧过程，剩余污泥中的好氧微生物在厌氧环境下死亡，并被厌氧微生物降解。水解酸化器内的厌氧微生物流入水解池和接触氧化池，在接触氧化池的好氧环境下死亡，被接触氧化池中的好氧微生物降解。

污泥水解酸化器还可以将剩余污泥吸附的生化难降解有机物，经酸化后成为小分子的易被生物降解的物质，避免了在处理中生物难降解有机物的积累，提高整个处理系统的效能。

4. 结论

采用无剩余污泥水解酸化法处理生活小区污水的试验表明，污泥水解酸化器的合理设计，选择适宜的水力停留时间是十分重要的。污泥水解酸化器实际上是利用了两相厌氧消化中的产酸阶段，试验中采用中温酸化，反应器内温度控制在 34℃，水力停留时间为 1.5 天，pH 值在 5.5~6.0 之间对酸化有利，运行中通过调节污泥投配量和水力停留时间来改变水解酸化液的 pH 值。污泥水解酸化器可以视为生化处理中的一部分，将接触氧化池产生的剩余污泥排入水解酸化器预酸化降解，然后回流进入好氧生化系统，污泥经历厌氧和好氧过程，剩余污泥中的微生物在不同的环境下死亡和降解，可以达到好氧生化系统内无剩余污泥排出的目的。

参考文献：

[1] Han Hongjun, Chen xiurong, A Test Study on Treatment of High Strength Polyester Wastewater with anaerobic Reactor, Journal of Harbin Institute of Technology, 2002,8(3):228-291

[2] B Z Wang, A study on simultaneous organic and nitrogen removal by extended aeration submerged biofilm process. Wat Sci Tech, 1999,24(5):197~214

浅谈污泥堆肥资源化的设计与研究

卜秋平 韩法昌

(河南许昌市污水净化公司)

摘要: 随着国家对环保治理的力度的加大,越来越多的污水厂投入运行,由此处理污水而产生的剩余污泥也越来越多,如若对污泥处理不好,就有可能造成二次污染,因此,处理污水的同时,重视污泥的处置显得非常重要。本文对污泥的堆肥资源化处置的设计与研究进行了论述。

关键词: 污水处理、剩余污泥、处置、资源化、研究。

0 引言

污泥堆肥资源化就是把污脱车间生产出的泥饼进一步在微生物的作用下,通过微生物的生物化学反应实现物质转化,从而达到剩余污泥的无害化、稳定化、减量化和资源化的过程。根据处理过程中起作用的微生物对氧气的要求不同,污泥堆肥可分为好氧法和厌氧法两种。好氧法是指在通气条件下通过好气性微生物活动使有机物得到降解稳定的过程,此过程速度快,堆肥温度高(一般为 50—60℃,极限温度可达 80—90℃,故又称高温堆肥);厌氧堆肥实际上是微生物的固体发酵,对有机物进行降解和稳定化,需通过更复杂的生物化学反应,该过程堆肥速度慢,堆肥时间是好氧能法的 3—4 倍甚至更多,根据实际情况,选定好氧堆肥法对泥饼进行处置并对处置后的肥效进行研究。

1、好氧堆肥法的微生物作用原理

好氧条件下进行污泥堆肥资源化,微生物作用过程可分为以下三个阶段:(1)发热阶段(主发酵前期 1—3 天,)堆肥堆制初期,主要由中温好氧的细菌和真菌,利用堆肥中最容易分解的可溶性物质,如淀粉、糖类等迅速增殖,释放出能量,使堆肥温度不断升高。

(2)高温阶段(主要发酵、一次发酵,3—8 天)堆肥温度上升到 50℃以上,即可称为高温阶段。由于淀粉、糖类等易分解物质迅速分解氧化的同时,消耗了大量的氧,而造成了堆肥中局部的厌氧环境。这样,好氧性的微生物如纤维素分解氧化菌逐渐代替了中温微生物的活动。这时,堆肥中残留的或新形成的可溶性有机物继续被分解转化,一些复杂的有机物和纤维素、半纤维素等也开始得到强烈的分解。在此过程中,好热性微生物随着温度升高而随之发生变化,在 50℃左右,主要是嗜热性真菌和放线菌,温度升高到 60℃时,真菌几乎完全停止活动,仅有嗜热菌和放线菌在继续活动,缓慢分解有机物,温度升到 70℃时,大多数嗜热性微生物已不适宜,而大量死亡或进入休眠状态。

高温对污泥堆肥化而言是极为重要的,主要表现在两个方面:一方面,高温对快速腐热起

着重要作用,在此阶段中,堆肥内部开始了腐殖质的形成过程,并开始出现能溶于弱碱的黑色物质。另一方面,高温有利于杀死病原性微生物和寄生虫卵。病原性微生物的灭活取决于温度和接触时间,据研究 60℃,—70℃维持 3 天,可使脊髓灰质炎病毒、病原细菌和蛔虫卵天活。根据我国长期的经验,一般认为,堆温 50℃—60℃,持续 6—7 天,可达到较好的杀天虫卵和病原菌的效果。

(3) 降温和腐熟保肥阶段(后发酵、二次发酵,需时 20—30 天,)经过高温阶段的主发酵,大部分易分解有机物(包括纤维素等)已得到分解,剩下的是木质素等较堆分解的有机物以及新形成的腐殖质。这时,微生物活动减弱,产热量随之减少,温度逐渐下降,中温性微生物逐渐成为优势种,残余物质进一步分解,腐殖质继续不断地积累,堆肥进入腐熟阶段。腐熟阶段的主要问题是保存腐殖质和氮素等植物养料、充分的腐熟能大大提高污泥堆肥肥效与质量。为了减弱有机质矿化作用,避免肥效损失,可采取压紧堆肥,造成厌氧状态的措施。

污泥堆肥过程中的生物相的变化通常表现为:

细菌、真菌、厌氧菌→纤维分解氧化菌→嗜热菌、氨化菌→细菌、脱氮菌→细菌、放线菌

在堆肥的过程中,大量的蛋白质转变成了氨,它经消化后,又接着发生脱氮作用,即在同一堆肥系统内,同时存在着氧化反应和还原反应。也就是说,在有机物团块氧气分布不均匀的污泥内,既存在着适应消化细菌活动的好气微环境,也存在着适应脱氮菌活动的厌气环境。因此,在污泥堆肥系统中,一般都是细菌占优势。

由于污泥好氧堆肥化具有发酵周期短、能高温发酵、无害化程度高、卫生条件好、易于实现机械化操作和工业化生产等特点,污泥脱水后的泥饼和堆肥后的腐熟质混合调整接种后,采用好氧堆肥法,简单易行,就能达到很好的堆肥效果。如美国费城污泥制配中心采用贝尔茨维尔(BELTSVILLE)好氧堆肥法,年生产污泥达 5 万吨,其特点是在条形堆下设穿孔管,用真空泵抽气,使空气从污泥混合物通过而充气,排出的气再经过腐熟的肥堆过滤以防止散发臭气。从而达到了很好的堆肥效果。

2、好氧堆肥法的主要工艺流程与堆肥设备

2.1 好氧堆肥法的主要工艺流程和技术条件

2.1.1 主要工艺流程如下

泥饼→调整碳氮比→调整水分与接种→主发酵(通气发酵 1—4 天)→后发酵(二次发酵)→后处理(紧压保肥)

2.1.2 技术条件

污泥堆肥资源化对泥饼等原料的要求:

- (1) 密度一般为 350—650kg/m³,有机质含量(温重)≥20%
- (2) 含水率 40%—60%

- (3) 污泥原料营养配比: C/N 为 (20: 1) — (30: 1) C/P 为 (75: 1) — (150: 1)
- (4) PH 值在 7—8.5
- (5) 发酵控制温度 40—60℃, 充气堆肥保持 55℃3 天以上
- (6) 提供足够的空气量, 充气堆肥通气量控制在 3.0—3.6m³ (m³肥堆*h)

根据泥饼的情况, 一般含水率在 75%—80%之间, 而腐熟质含水率在 25%—35%, 因此把泥饼与腐熟质按一定体积比混匀加入粉煤灰或石灰就能调整原料含水率在 50%—60%之间。同时, 通过混料使泥饼粒度也得以调整, 能够满足堆肥要求。在此过程中, 也调整了 PH 值并进行接种, 进行接种的目的是增加微生物菌源, 或增加微生物分解酵素。此时, 肥堆中难分解物质少, 可以考虑不再进行二次发酵, 堆肥时间短, 因而具有相当的优越性, 好氧堆肥时含水率以 50%—60%为最佳, 含量过高时, 部分污泥将产生厌氧发酵而延长有机物分解时间, 含水率过低时, 有机物不易分解, 当含水率低于 12%—15%时, 微生物活动几乎停止。污泥中 C/N 比越小, 堆肥化所需时间越长。

2.2 污泥堆肥资源化的工艺设备

2.2.1 堆肥设备

堆肥设备包括物料处理、翻堆、反应器和除臭设备。

物料处理设备包括粉碎、混合、输送和分离设备。污泥堆肥系统的物料处理设备比较简单, 只需混合设备和输送设备就行了。条垛堆肥系统的翻堆设备为三类, 斗式装载机或推土机、垮式翻堆机、侧式翻堆机。翻堆设备可由拖位机牵引或自行推进, 中小规模的条垛宜采用斗式装载机或推土机, 大规模的条垛宜采用垮式翻堆机或侧式翻堆机。垮式翻堆机不需要牵引机械, 侧式翻堆机需要拖拉机牵引。美国常用的是垮式翻堆机, 而侧式翻堆机在欧洲比较普遍。这三类翻堆设备的优缺点见表一。

2.2.2 反应器堆肥系统

根据反应器类型, 固体流向, 反应器的床层和空气供给方式进行分类, 反应器堆肥系统可分为垂直固体流和水平及倾斜固体流两类。美国目前常用的反应器堆肥系统是搅拌床反应器、水平推流反应器和垂直流反应器, 而间歇隧道堆肥系统在欧洲的应用却越来越多, 它在城市固体废弃物、污泥等处理中得到广泛的应用。

2.2.3 除臭设备

消除臭味问题是关系到一个堆肥工厂能否正常运行, 有效的臭味控制是衡量堆肥工厂成功运转的一个重要标志, 控制臭味至少必须采取 5 种措施: ①堆肥过程控制; ②调查可能的臭味来源; ③臭味收集系统; ④臭味处理系统; ⑤残留臭味的有效扩散。堆肥过程控制是减少臭味的关键因素, 但不能完全有效地控制臭味, 根据臭味来源的调整结果, 建立适当的臭味和处理系统。臭味处理系统包括化学除臭器、生物过滤器等。实践中, 常采用生物过滤器处理臭味, 在污泥堆肥系

统中，它的组成材料为熟化的肥堆等。控制臭味的最常用的综合措施是封闭堆肥设备、采用生物过滤器和进行过程控制。

3、堆肥的腐熟度与品质评价

腐熟度是指污泥中的有机物经微生物作用后腐化分解成为成分稳定，不再变化，施于土壤后能提高土壤肥效，增加农作物产量，是对作物没有阻碍的堆肥发酵状态。

判断堆肥腐熟度的物理评价指标又称表观分析法，有人将腐熟堆肥的表现性质归纳为：堆肥后期温度自然降低，不再吸引蚊蝇，不再有令人讨厌的臭味；由于真菌的生长，堆肥出现白色或灰白色菌丝，堆肥产品呈现出疏松的团粒结构。此外，高品质的堆肥就是深褐色，肉眼看上去很均匀，并发出令人愉快的泥浆气味。

此外，还有化学评价指标，生物评价指标与光谱分析法。

4、总结

通过好氧法堆肥系统能很好的把污水处理厂的污泥实现其资源化无害化和减量化，形成一种类似土壤的灰褐色彩腐殖质，应用于土壤改良、施肥和追肥中去，取得良好的农用效果和效益。也可以把 N、P、K 等肥料和这种腐熟质掺混，通过造粒，生产出高效复混肥，应用到农业中去，也是污水处理厂污泥处理处置的最好出路，变废为宝，同时避免了由剩余污泥造成的二次污染，实现了治污的良性循环，对生态环保具有重要的意义。

表一 不同翻堆设备的优缺点

斗式载机或推土机		跨式翻堆机	
侧式翻堆机			
优点	便宜，操作简单 堆料混合均匀， 小不受限制。	条垛间距中， 堆肥占地面积小	翻堆彻底， 条垛大
缺点	堆料易压实，堆料混合不均 翻堆能力小 匀，条垛间距应 $\geq 10\text{m}$ ， 利用的堆肥场地小	条垛大小受到严重限制， 可处理的物料少	易损坏，

参考文献

- (1) 魏源送等，浅谈堆肥设备(J)城市环境与城市生态 13(5)、17—20、北京、2000。
- (2) 钱易等，现代废水处理技术(M)，中国科学技术出版社、北京、1993。
- (3) 肖锦，城市污水处理及回用技术(M)，化学工业出版社，北京、2002。
- (4) 石志红等，许昌市污水处理工艺初探(J)许昌师专学报

高碑店污水处理厂污泥的循环流化床焚烧处理技术

贡小银 吕清刚 马人熊

(中国科学院工程热物理研究所)

1. 污泥处理技术概述

污泥的处理方式有填埋、干化、综合利用、焚烧等。

污泥经消化脱水后再进行填埋是许多大型污水处理厂污泥处理的主要方式。经过消化后的污泥有机物含量减少,性能相对稳定,总体积减少,脱水后再进行填埋也是一种比较经济的处理方式。由于消化装置工艺复杂、一次性投资大、运行操作难度大,实际运行经验表明往往难以达到预期的效果。加之脱水污泥含水率大大高于普通生活垃圾卫生填埋场所要求的30%含水率,因此需再处理才能送生活垃圾填埋场填埋;或者根据污泥的含水率及力学特性等因素设置专用的污泥填埋场。专用污泥填埋场占地面积较大、选址不易、存在二次污染和安全隐患等问题。

污泥制肥料曾是污泥利用的主要途径。近年来,由于人们对绿色食品的要求和对土壤污染的警惕,污泥肥料农用的标准日趋苛刻,许多国家如德国、意大利和丹麦等污泥农用的比例急剧下降,欧洲大部分国家2005年后将禁止在农业区使用污泥肥料。过去我国城市污泥的出路也是农用,农民花钱买污泥作肥料,现在变成倒贴钱农民也不要。国内的污泥肥料由于使用不方便和肥效差等原因无法和化肥抗衡,污泥用作农业肥料已经难以为继。此外还有顾虑重金属、洗涤添加剂污染等原因,使得此种处置方式日益萎缩。

污泥的干化处理工艺能耗高,设备复杂,费用高,减量化不彻底。干化后的污泥或送去焚烧或用作肥料,仍然存在出路问题,一般使用较少。

以焚烧技术为核心的污泥处理方法是最彻底的处理方法,是发达国家普遍采用的处理方法。有资料显示,在2005年采用焚烧处理污泥的比例美国达到20%,欧盟各国达到38%,日本超过55%。焚烧处理污泥的优点是占用场地小,处理快速处理量大;减量明显,减容量大于90%;焚烧后的灰渣可以直接进入填埋场,也可用作建筑材料或铺路等;因此,采用焚烧法处理污泥,能最大程度地实现减量化、稳定化和无害化。

焚烧法是将脱水污泥直接送入焚烧炉焚烧,可直接焚烧75%~80%甚至更高含水率的污泥。为了保证污泥的稳定燃烧,并对污泥含水率的波动具有一定的适应性,一般都需掺入辅助燃料如煤、油、燃气等。普通的焚烧方法必需掺入大量的辅助燃料来稳定燃烧,且燃烧效率和热效率低。

循环流化床焚烧污泥是一种较好的解决方案。循环流化床焚烧炉由于具有强烈的湍流、长久的气体停留时间、均匀的温度分布，能在相对较低温度和较少过剩空气下高效率焚烧，获得较高的有害物质的破坏和去除率，有害物质脱除剂的利用效率高。通过分级燃烧，大幅度控制 NO_x 生成；通过床内加入碱性物质如石灰石等，大幅度降低烟气中的酸性气体(SO_x 和 HCl)的含量，使烟气直接达标排放，而不需要另加尾气处理系统。通过尽可能多地回收燃烧烟气中的显热,减少辅助燃料的加入量，从而把污泥处理的成本降至最低。循环流化床焚烧炉属于高热负荷型技术，易于大型化，没有运动部件，因此有较长的寿命，维护费用比其它炉型低。由于循环流化床污泥焚烧炉具有炉内热传导均匀，蓄热性高，废热回收效率高，回收热源稳定等优点，循环流化床焚烧污泥已成为国际上污泥处理的发展趋向。

2. 循环流化床污泥焚烧技术

在循环流化床污泥焚烧炉中，污泥通过给料系统直接加入炉内，与炉膛内的热烟气和热物料结合与掺混，先后经历烘干成型、燃烧爆裂、缩核燃尽等焚烧过程，最后形成符合排放要求的灰渣，污泥的减量化大于 90%。燃烧的空气分为一次风和二次风，一次风从炉膛底部加入，二次风从炉膛中部加入，形成分级燃烧，大幅度降低 NO_x 的生成。炉膛出口的烟气携带固体颗粒进入高温旋风分离器，固体颗粒被分离下来返回炉膛，循环燃烧。干净烟气进入尾部换热器，经布袋除尘器排入大气，除尘器收集的灰渣可进入除灰系统。利用燃烧后产生的热烟气来加热空气，把空气温度加热到湿污泥干化所需要的温度(400~600)。石灰石从炉膛下部加入，并形成反复循环固体物料与烟气中酸性气体持久反应，形成稳定的 CaSO₄ 或 CaCl₂，从而去除酸性气体，脱除率可以达到 95%。

循环流化床污泥焚烧炉采用0.5-2.0mm左右粒度范围的砂作为床料，一般常用的循环流化床床料多以二氧化硅(SiO₂)为主，其中含有微量的三氧化二铝(Al₂O₃)及三氧化二铁(Fe₂O₃)等物。污泥的灰熔点一般大于1000℃，循环流化床床温控制在800—850℃间，污泥团粒在循环流化床内燃烧过程中为固态，所占床料重量比小于5%，进入循环流化床内即被大量运动着的高温惰性床料冲散，因此，污泥在循环流化床内焚烧不会发生床砂的粘结问题。

循环流化床通过高流化速度使炉床所含粗砂和废弃物颗粒向上浮出，并经固体回收分离装置（旋风分离器）将烟气中的砂粒和燃烧完全或未完全的物料通过高温立管及返料器再循环送入炉内形成高度混合的燃烧反应区，使物料能在足够的停留时间内被分解，破坏和焚烧。而单位时间由旋风分离器收集循环进入炉内的固体物料量(含床砂和燃烧过程产生的固体物)除以单位时间内焚烧废弃物量的值(即固体颗粒循环倍率)则介于30~40之间。通过这种方式，循环流化床温度分布更为均匀一致，焚烧温度一般维持在850℃左右，由于停留时间长，循环流化床具有处理有害废

弃物达到比规定的破坏去除率(DRE)更高的能力。

循环流化床焚烧炉的另一优点是含有硫及氯成份时污泥采用炉内添加石灰石脱除技术,在炉内燃烧时所生成的 SO_2 、 HCl 立即与石灰或石灰粉生成粉末状的 CaSO_4 及 CaCl_2 ,这样可大量减少烟气中所含有害气体量。关键是反应的温度水平和添加剂的反复使用,使得 SO_2 、 HCl 的脱除效率很高,可直接达到排放标准。

中国科学院工程热物理研究所长期致力于发展循环流化床燃烧技术。从1984年建成国内第一台2.8MWt循环流化床工业化燃烧装置至今,开发成功了10t/h到480t/h蒸发量等多种循环流化床锅炉。采用本技术生产的循环流化床燃煤锅炉,已达到1500多台,占据国内70%以上市场份额。近年来,在研究开发燃煤循环流化床燃烧技术的同时,不断扩展新的研究领域,如城市固体废弃物焚烧技术、煤泥和污泥焚烧技术等。在污泥焚烧处理方面,考察了国内外各种污泥焚烧技术,依托自己的学科优势,在实验室研究和中试的基础上,设计了有辅助燃料掺烧的情况下,适合污泥焚烧的循环流化床焚烧炉。在中试装置上,完成了污泥含水率7~90%变化时的燃烧特性和排放特性的中试试验。试验结果表明:我们的循环流化床污泥焚烧技术是成功的,具有技术先进、燃烧充分和费用低廉的特点,排放满足国家标准,可以直接进行工程应用。

3. 高碑店污水处理厂污泥的焚烧处理技术

针对北京市高碑店污水处理厂污泥的焚烧处理进行了系列实验和研究。该污泥的空气干燥基热值为9432.5kJ/kg;含水率为80%时,污泥的低位热值为117kJ/kg。污泥直接入炉焚烧需要消耗一定量的辅助燃料。辅助燃料可以用煤,也可以用污水处理场的沼气。如选用沼气为辅助燃料,具有系统简单可靠,运行成本低,减轻除尘压力等特点。用煤作为辅助燃料时辅助燃料的费用较低,但污泥焚烧装置的选址应符合当地的政策法规,如在北京应选在四环路之外。

如果污泥焚烧处理厂附近能有使用蒸汽或热水的用户,可以选用余热蒸汽锅炉或余热热水锅炉,产出商品蒸汽或热水,提高系统的经济效益。

根据综合分析,本实验方案采用煤作为辅助燃料,焚烧的污泥为污水处理厂的新鲜污泥(含水80%左右)。本实验方案的循环流化床污泥焚烧本体可以在0%~120%的超宽变负荷范围内安全稳定运行。

4. 污泥焚烧实验系统

污泥焚烧实验系统由循环流化床污泥焚烧本体、给料系统、烟风系统、烟气净化系统、灰渣输送系统、热水系统与水冷却系统、点火系统、电气系统和仪表系统等组成。

4.1 循环流化床污泥焚烧本体

循环流化床污泥焚烧本体由绝热流化床炉膛、高温旋风分离器、返料器、省煤器和空气预热器等组成。通过优化配置和优化能量分配，能尽可能多地回收燃烧烟气中的显热，减少辅助燃料的加入量，从而把污泥处理的成本降至最低。

4.2 给料系统

给料系统包括以下几部分：污泥的加入系统，主要有污泥储池、污泥泵组成；辅助燃料煤的加入系统；石灰石的加入系统，用于炉内脱硫；沼气的接入系统。同时设一个循环流化床床料的加入口。

4.3 烟风系统

烟风系统由烟风管道、鼓风机、引风机和调节风门等组成。燃烧所需的空气经过空气预热器预热后分为一二次风从炉底和炉膛中部分级送入焚烧炉内。燃烧产生的高温烟气进入尾部烟道，流经空气预热器冷却后通过除尘器和烟囱排入大气。

4.4 烟气净化系统

采用循环流化床焚烧污泥，污泥焚烧产生的灰主要形成焚烧残留物被烟气所携带，除尘方式采用布袋式除尘器。脱硫采用炉内加石灰石方式，可以不加装尾部脱硫设备。

4.5 焚烧残留物输送系统

布袋除尘器排出的焚烧残留物由输送系统送至灰仓。焚烧残留物输送系统由锁气器和螺旋输送机等组成。焚烧炉正常运行时底部基本不排渣，底部放渣管作为停炉检修时清除床料用。

4.6 热水系统与水冷却系统

由于焚烧炉的入炉热量较低，为维持炉内燃烧工况的稳定，本实验方案采用绝热燃烧炉膛，炉膛内没有布置受热面。在尾部烟道内布置适量的省煤器受热面来吸收烟气中的热量，从而把 30℃水加热到 80℃的热水。热水经过水冷却系统冷却后再循环使用。

污泥焚烧锅炉水冷却系统由水泵、冷却塔和管道阀门等组成。

4.7 点火系统

焚烧炉点火系统用于焚烧炉启动时将床料从常温加热到污泥着火温度。点火燃料为柴油，系统由燃烧器、管道阀门等组成。其中点火燃烧器布置在床下风室中。

4.8 电气系统

电气系统用于控制鼓引风机、水泵、灰输送机 and 点火器等设备的启停，污泥给料机、脱硫剂给料机的启停和给料量调节，风门调节等。

4.9 仪表系统

仪表系统用于监测焚烧炉燃烧温度、排烟温度、一次风量、二次风量、风室压力、炉膛负压、冷却水温度和流量、给料量等参数，并对这些参数进行计算机自动数据采集。另外还要装设烟气排放连续监测系统。

5. 高碑店污水处理厂污泥焚烧的环保性能

循环流化床焚烧污泥产生的排放物只有烟气和焚烧残留物两种。烟气中所含的各项污染物质指标经测试均满足国家相关标准，可以直接排入大气。污泥中存在一定量的重金属元素，焚烧时污泥中的重金属元素基本富集在焚烧残留物中。经过测试，污泥焚烧残留物中的重金属指标均低于国家相关标准，可直接进入填埋场填埋，也可以考虑资源化利用，如制造高级瓷砖或作高级水泥的调和料。

焚烧高碑店污水处理厂的烟气污染物的排放测定值如表 7.1 所示。

表 7.1 烟气污染物排放测定值

序号	项目	单位	排放测定值	国家标准限定值
1	烟尘	mg/m ³	50	80
2	一氧化碳	mg/m ³	120	150
3	氮氧化物	mg/m ³	280	400
4	二氧化硫	mg/m ³	150	260
5	氯化氢	mg/m ³	1.8	75
6	汞	mg/m ³	0.04	0.2
7	镉	mg/m ³	0.008	0.1
8	铅	mg/m ³	0.015	1.6
9	二恶英类	ng TEQ/m ³	0.200	1.0

注：本表所测数值均以标准状态下含 11%O₂ 的干烟气为参考值换算。

6. 300 吨/日循环流化床污泥焚烧系统设计方案

根据我们的试验研究结果，提出了 300 吨/日循环流化床污泥焚烧系统设计方案。

6.1 循环流化床污泥焚烧锅炉

6.1.1 设计条件

设计方案用煤作辅助燃料，这样费用可以低一些。为了维持绝热炉膛稳定的燃烧温度，要求入炉燃料必须满足一定的发热量要求，因此，对辅助燃料的低位发热量或者掺烧比例均有要求。对于一台 300t/d 的污泥焚烧炉，如果辅助燃料煤的热值为 25871kJ/kg，每天需用煤 28 吨。300t/d 循环流化床污泥焚烧锅炉的设计条件如表 6.1 所示。

表 6.1 300t/d 循环流化床污泥焚烧锅炉的设计条件

项目	单位	数值
燃料	80%含水率的污泥	
燃料热值	kJ/kg	117
处理量	t/d	300
辅助燃料	煤、沼气	
沼气热值	kJ/kg	20000kJ/kg
煤的需用量	t/d	28
煤低位发热量	kJ/kg	25871kJ/kg

含水污泥的特性见表 6.2。

表 6.2 污泥特性

序号	项目名称	符号	单位	数据
1	收到基碳	C_{ar}	%	5.27
2	收到基氢	H_{ar}	%	0.76
3	收到基氧	O_{ar}	%	3.43
4	收到基氮	N_{ar}	%	0.62
5	收到基硫	S_{ar}	%	0.38
6	收到基水分	M_{ar}	%	80.00
7	收到基灰分	A_{ar}	%	9.54
8	干燥无灰基挥发份	V_{daf}	%	96.53
9	低位发热量	$Q_{ar,net}$	kJ/kg	117

辅助燃料煤的特性见表 6.3

表 6.3 辅助燃料煤的特性

序号	项目	符号	单位	数据
1	收到基碳	Car	%	68.84
2	收到基氢	Har	%	3.56
3	收到基氧	Oar	%	11.08
4	收到基氮	Nar	%	0.71
5	收到基硫	Sar	%	0.40
6	收到基水分	Mt,ar	%	6.88
7	收到基灰分	Aar	%	8.53
8	可燃基挥发份	Vdaf	%	32.63
9	收到基低位发热量	Qnet,ar	kJ/Nm ³	6179

6.1.2 焚烧锅炉设计计算

循环流化床污泥焚烧炉由流化床炉膛、高温旋风分离器、返料器、省煤器、空气预热器和吹灰器等组成。炉膛为污泥和辅助燃料的燃烧空间，其墙壁采用耐火砖砌筑结构。污泥焚烧脱硫采用将脱硫剂加入炉内方式。污泥焚烧产生的灰主要以焚烧残留物形式随烟气离开炉膛，焚烧炉正常运行时底部基本不放渣。焚烧炉运行过程由于磨损等因素造成的床料砂损失，根据床料高度的变化定时补充。循环流化床污泥焚烧锅炉的结构和外形尺寸参见图 6.1。焚烧锅炉上开设有污泥加入口，辅助燃料煤加入口，脱硫剂石灰石加入口，沼气接入口，一、二次风口，监视取样检修孔，温度和压力测孔等。

表 6.4 循环流化床污泥焚烧炉规范

序号	项目名称	符号	单位	数据
1	额定污泥处理量	B	t/d	300
2	污泥含水率	W	%	80.0
3	辅助燃料(煤)	Q	t/d	28
4	冷空气温度	T _{lk}	°C	20
5	热空气温度	T _{rk}	°C	600
6	排烟温度	t _{py}	°C	220

6.3 焚烧锅炉主要技术参数

根据设计计算，循环流化床污泥焚烧锅炉主要技术参数归纳如下：

1) 焚烧炉基本特性(见表 6.5)

表 6.5 循环流化床污泥焚烧锅炉的基本特性

项目	单位	数值
设计燃料 污泥	t/d	300
污泥热值	kJ/kg	117
燃烧温度	°C	850

2) 锅炉基本尺寸(见表 6.6)

表 6.6 循环流化床污泥焚烧锅炉的基本尺寸

项目	单位	数值
锅炉运转层标高	mm	6000
锅炉最高点标高	mm	24500
左右柱中心距	mm	5000
前后柱中心距	mm	14000

3) 辅机参数(见表 6.7)

表 6.7 循环流化床污泥焚烧锅炉的辅机参数表

项目	单位	数值
风量	Nm ³ /h	20121
鼓风机出口压力	mmH ₂ O	1000
烟气量	Nm ³ /h	33646
引风机进口负压	mmH ₂ O	350

4) 床料参数

床料材质石英砂，床料粒度 0.15—2mm，平均粒径 0.3—0.5mm。

5) 烟气净化

粉尘由布袋除尘器去除，SO_x炉内脱除，NO_x由分级供风和低温燃烧控制。

6) 脱硫参数

脱硫剂 CaCO_3 ，脱硫剂粒径 0—2.0mm，平均粒径 0.3—0.4mm，脱硫效率 95 %
($\text{Ca/S}=2$)，脱硫剂耗量 320kg/h， CaCO_3 的纯度 98%。

7) 点火启动及辅助燃料

用柴油燃烧器点火。辅助燃料是热值 25871kJ/kg 的煤，用量 28t/d。

7. 系统连接和物料平衡

7.1 烟风系统

烟风系统由鼓风机、引风机、调节风门、除尘器以及连接各设备的烟风管道等组成。燃烧所需的空气经过空气预热器预热后分为一二次风从炉底和炉膛中部分级送入焚烧炉内。燃烧产生的高温烟气进入尾部烟道中，经空气预热器冷却后通过除尘器和烟囱排入大气。

7.2 灰渣系统

污泥在流床内焚烧所产生的灰渣主要以焚烧残留物形式随烟气离开炉膛。底部设有一根排渣管，可以定期排渣。烟气中的焚烧残留物加上炉内加入的石灰石粉脱硫剂，烟气中颗粒浓度为 $39\text{g}/\text{Nm}^3$ 左右。采用布袋式除尘器，不仅可以吸收烟气中的焚烧残留物颗粒，而且可以把烟气中和吸附在焚烧残留物颗粒上的重金属收集下来。由除尘器分离下来的焚烧残留物通过输送系统送入灰仓，每天排灰 38.7 吨。

8. 结论:

1. 试验结果表明，我们的循环流化床污泥焚烧技术是成功的，具有技术先进、燃烧充分和费用低廉的特点。排放满足国家标准，可以直接进行工程应用。

2. 日焚烧 300 吨含水 80% 的污泥，用热值 25871kJ/kg 的煤助燃，日用量 28 吨。

日出灰渣 38.7 吨。有两台这样的污泥焚烧炉就可满足高碑店污水处理厂每天消纳 700 吨污泥的要求。

3. 每吨污泥运行成本小于 200 元人民币。

4. 可实现当年设计、当年建成、当年投入运行。

年 10 万吨级城市污泥无害化处置工艺介绍

苏明立

(北京汉新源科技发展有限公司)

一、项目基本情况

我们在这里向大家汇报的年处置 10 万吨城市污泥的项目是 1999 年度的国债项目。项目的全称是“北京城市污泥无害化农用示范工程”。

项目由北京城市排水集团和中国机械科学研究院等单位投资组建项目公司——北京汉新源科技发展有限公司承建。

项目建设在北京城南大兴庞各庄，在使用功能上属于为高碑店污水处理厂配套的项目。距离北京城市中心大约 50 公里，距离高碑店污水处理厂也为 50 公里。

项目建设用地面积 140000 平米 (210 亩)。其中，各类建筑和道路大约占了 60000 多平米，绿化占了其余 50% 的面积。

项目原计划投资规模为 1 个亿，其中固定资产投资为 6500 万，流动资金投资 4000 万，建成后将形成年处理 50000 吨污泥，年产 50000 吨有机无机复合肥的生产能力。

经过中试阶段的工艺调整，全部采用国产化的技术和设备，实际投资大为减少，而生产能力成倍增加。建成后项目总投资为 4300 万元，其中固定资产投资 3500 万元，流动资金投资 800 万元，形成年处理 100000 吨污泥，年生产 3 万吨有机肥料的生产能力。

项目从 2000 年下半年开始筹建，2002 年 6 月投入试运行。两年来已经处置高碑店污水处理厂的污泥 15 万吨。试生产有机肥 2 万吨。

试运行 15 个月污泥处理量统计：(2003.1-2004.3)

从 2003 年 1 月至 2004 年 3 月 15 个月累计处置污泥 11.7 万吨，最高月份 13000 吨，最低月份不到 2000 吨。期间安然度过非典肆虐的 2003 年春夏季。

二、项目的工艺路线

项目采用的污泥无害化农用技术简称 CET 技术。

CET 城市污泥无害化农用技术是综合日本污泥堆肥技术和德国污泥颗粒化技术的基础上国产化研发的。该项技术的基本概念在日本和德国都得到了比较广泛的应用。

该技术的国产化研发始于 1996 年，由中国机械科学研究院环保所、中国农科院土肥所、北京排水集团汉新源公司及有关技术人员发起针对中国国情进行研究开发，从而使该项技术采用的工艺和成套设备得以满足中国城市污泥无害化农用处理的要求。

该技术的内容分两个部分：其一是城市污泥无害化处置技术；其二是城市污泥资源化利用

技术。

下面我们重点介绍污泥无害化处置技术，其核心部分是年 10 万吨露天条垛式好氧堆肥技术。

1、露天堆肥场的占地面积

大兴污泥露天堆肥场的总面积为 38000M²，呈梯形布局。堆肥场北侧 144 米宽，南侧 220 米宽，西侧 195 米宽。

2、堆肥场的环保条件

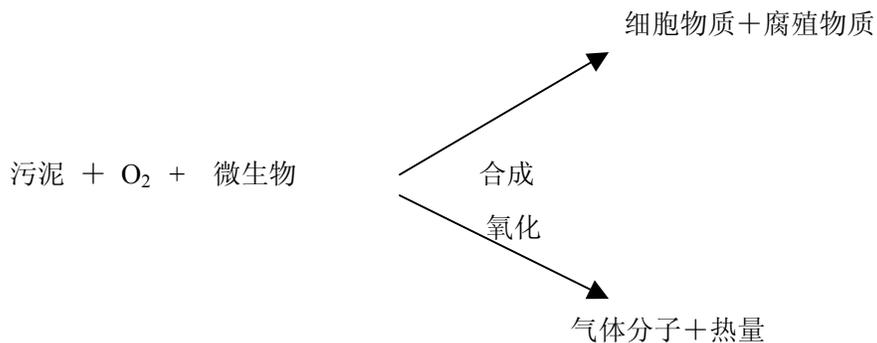
(1) 整个堆肥场由 20 公分厚的混凝土浇注而成，可以有效地防止污泥渗液往地下渗漏。

(2) 环堆肥场有 1.5 米宽的雨水渠，把雨水引向堆肥场东南角的污水沉降池，经过一级处理后再向外排放。沉降的污泥，可用泵回抽到堆肥场继续堆肥。

(3) 堆肥场周边 1500 米内为无民居的农田，因此不存在堆肥臭气污染的问题。

3、露天堆肥场的主流工艺

露天堆肥场的主流生产工艺为“CET 条垛式好氧堆肥”。其基本过程如下：



4、大兴污泥露天堆肥场的生产能力

根据理论计算和试运行的验证，大兴露天堆肥场的生产能力为：

- (1) 日消纳 250 吨含水率 80% 的湿污泥；
- (2) 日生产 330 吨含水率 35% 的干污泥；
- (3) 日挥发水分 175 吨；（最高）
- (4) 整个堆肥场的最大污泥容量为 14000 吨。

5、大兴污泥露天堆肥的流程设计（适用于 4 月—10 月）

6、大兴污泥处理厂的现场布局

7、露天堆肥的基本工艺目标

- (1) 无害化要求

堆肥温度达到 50 度，保持时间 72 小时，基本消除对人体有害的病原体。堆肥产品符合国家农肥的卫生检疫标准。

(2) 减量要求

使污泥含水率从 80%，下降到 30%。污泥体积减少 50%。

(3) 堆肥产品的目测指标：

- 堆肥后温度自然降低；
- 不再吸引蚊蝇；
- 不再有令人讨厌的臭味；
- 由于真菌的生长，表面出现白色或灰白色的菌丝；
- 堆肥产品呈现疏松的团粒结构。

(4) 堆肥后有机质保持指标

堆肥后的有机质保持指标为 $\geq 30\%$ 。有机质的含量由实验室采用滴定法检测。为了保持污泥熟化后的有机质含量，堆肥过程中必须控制发酵时间和温度。

8、露天堆肥的工业化生产控制因素和手段

控制因素：	作业手段：
(1) 水分	(1) 混合
(2) 温度	(2) 堆踩
(3) 通风	(3) 翻堆
(4) 添加剂	(4) 晾晒
(5) 碳氮比	(5) 覆盖

作业手段的案例简介：

翻堆的操作规范

(1) 翻堆就是用铲车将整条踩的污泥，从一个踩位迁移到另一位。翻堆的目的就是通过对整个踩位的迁移，使堆肥过程中的污泥得到完全通风。

(2) 翻堆通常在堆踩七天后进行，最长不超过 14 天。正常情况下翻堆的频率为 7—10 天一次，最常不超过 14 天。一个条踩在整个堆肥周期中的翻堆次数不能少于 2 次。

表层和深层温差超过摄氏 10 度时，实验室要提示翻堆。

(3) 翻堆的作业顺序

▲ 翻堆通常从条踩的一端开始，依次将堆肥过程中的污泥从一个踩位迁移到另一个踩位；

▲ 在倾倒污泥的时候，铲车的铲斗要有颠撒的动作，尽可能使倾倒下去的污泥保持松散的状态。

▲ 新堆的条垛，也必须保持底宽 6—8 米，顶宽 4—6 米，高度 1.5 米的标准尺寸。

▲ 翻堆后必须及时清理现场，保证现场的整洁。

(4) 生产班组在翻堆结束后必须立刻做生产纪录，记录内容包括：垛位编号，翻堆日期，堆垛容积，翻堆工作时堆肥照片

发酵后的污泥也就是有机肥料，有机质仍保持在 30% 以上，可以进一步资源化利用，用作土壤改良和底肥。

我们对堆肥后形成的有机肥进行了各项卫生指标测定，完全达到了农用标准，并获得北京农业局颁发的肥料认证。

这种有机肥料具有吸热、松土、保水功能，有利于作物种子的萌发和根系的生长。它含有作物各生长期所需的养分，如氮磷钾、氨基酸、蛋白质等；另外，带有微生物和酶，有利于活化土壤养分，提高土壤供肥能力。

如果配置多种微量元素还能较明显地改良作物品质。

三、经济技术参数

从这三年的筹建和试运行情况看，示范工程的成果是显著的：

- 1、投资少。形成一吨泥处理能力的投资约 600 元，国外报价一般是 1000 元。
- 2、运行费低。测算运行费是 65 元处理一吨湿泥，国外报价高达 200 元。
- 3、经济效益明显。测算达产后年工业值超过 1000 万元，年利润率超过 3%，动态回收期为 12 年（含 4.8% 折旧）。
- 4、探索了一条自筹资金的市场化、企业化、产业化运行的道路和模式。

2003 年试运行主要经济指标：

年处理污泥量	7 万吨
年生产有机肥	1.5 万吨
污泥处理费收入（含运费）	180 万元
有机肥收入	80 万元
年总产值	260 万元

四、技术提高的方向

污泥无害化农用技术的深化主要有两个方面的考虑：

第一、建立全北京市城市污泥重金属盐分布监控网。

城市污泥中含有一定成分的重金属盐，很容易在土壤中沉积，超过一定数量后又会被农作物的吸取，影响农作物的食用品质，从而使农田丧失其农业生产功能。国家对城市污泥中的重金属污染物有严格的控制标准。

北京城区污水处理厂以生活污水为处理对象，一般情况下不存在重金属盐超标的问题。

为了使突发情况下形成的重金属盐超标污泥不被混合制成肥料，必须建立一套监控体系，科学准确地掌握北京城市污泥中重金属盐地分布情况和来源，以确保污泥肥料的安全可靠，真正实现污泥无害化农用的目标。

第二、建设全天候污泥堆肥设施。

目前投入使用的露天堆肥技术虽然具有投资成本低、运行成本低、技术简便等优点，但是在实际运行中，受到天气状况的影响较大。比如雨季，降雨和空气湿度高这两个因素，都会影响堆肥的效率。再比如冬季，大气温度的降低，也将延长堆肥时间。由于受天气影响，一年中大约有 5 个月的时间里，堆肥效率要比正常天气下降 50%。

为了克服露天堆肥生产效率受制于天气的状况，我们正在研发室内曝气堆肥技术，并力争在 2008 年以前将该技术产业化。

新一代污泥脱水（浓缩脱水一体）成套设备在给排水中的应用

熊诚 孙文琪

（上海市离心机械研究所）

文章摘要：

本文介绍新一代污泥脱水(浓缩脱水一体)高干度离心机成套设备在给排水中的应用,重点突出高干度离心机的工作原理、结构特点.该系统采用了国际先进水平的大长径比、高转速、液压小差速系统、差速根据负载变化自动反馈调节,推料功率自动补偿,使污泥在机内不仅受离心压力,而且在前端二个螺叶间作双向挤压以保证泥饼的恒定干度,得到更干的泥饼,整个系统运行均由 PLC 控制,可实现现场 PC 和中控室上位机之间双网通讯使该装置成为全自动化的成套操作单元.该机比一般离心机的药耗、能耗均节约 30%,是一种高效、低能耗、自动化程度高成套单元。

关键词:高干度污泥脱水（浓缩脱水一体）机、小差速、差速自动反馈调节、离心力+双向挤压力、低药耗、低能耗

引言：

污泥脱水(浓缩脱水一体)处理是城市生活污水、水厂排泥水、工农业废水处理工程中的重要环节,经浓缩脱水后的污泥,体积大为缩小,不但减轻了对环境的二次污染,也为污泥资源的综合利用创造了极有利的条件。

当今国际上已普遍使用全封闭连续运行的卧式螺旋卸料沉降离心机（简称离心机）作为污泥脱水的主机,从而避免了传统工艺采用带式压滤机存在的种种弊端（如：污泥脱水敞开进行,现场环境恶劣,臭味大,大量使用絮凝剂和清洗用水,日常运行成本高,设备体积庞大,征地和基建费用高）。本所生产的污泥脱水(浓缩脱水一体)成套设备,主机采用了具有国际先进水平的大长径比、高转速、小差速系统的液压差速器、差速根据负载变化自动反馈调节、推料功率自动补偿,使污泥在机内不仅受离心压力,而且在前端二个螺叶间作双向挤压以保证泥饼的恒定干度,得到更干的泥饼,而且整个系统的切割粉碎、进料、排泥、输送、絮凝剂的投放、以及系统运行均由 PLC 全自动电控箱控制,使该装置成为全自动化的成套操作单元。

一. 成套设备组成

该系统主要由：

- a. 污泥进料系统：（污泥切割机；污泥进料泵；电磁流量计等组成），
- b. 絮凝剂投配系统：（PAM 粉剂储罐；计量喂料器；射流装置；搅拌筒；储药箱；加药泵；稀释水装置；混合器；就地 PLC 控制箱等组成），

- c. 污泥脱水（浓缩脱水一体）高干度离心机: [LWNY 系列卧螺离心机; 低速大扭矩液压差速器; 液压控制系统（液压站）],
- d. 无轴螺旋输送机,
- e. 污泥脱水（浓缩脱水一体）成套设备电器控制系统:（PLC 控制柜; PC 工控机）

二. 污泥脱水（浓缩脱水一体）成套设备工作原理与特点

待处理的污泥由管道接入该系统污泥进料系统输入端, 经污泥切割机对其中的长纤维等杂质进行切割粉碎, 由进料泵（单螺杆泵）进料, 通过流量计计量后输入污泥脱水（浓缩脱水一体）离心机。

在粉剂储罐内粉剂 PAM 通过计量喂料器计量后, 均匀进入射流斗与水混合, 由射流泵加入搅拌筒, 配制成浓度为 0.3% 水溶液, 经搅拌, 充分溶解后, 放入储箱备用; 加药泵根据工艺所需流量变频可调与稀释水混合, 稀释到 0.08~0.12% 浓度后与待处理污泥混合, 絮凝成矾花进入离心机进行污泥浓缩脱水, 以达到最佳污泥进料量与加药量; 污泥经离心机机脱水处理后, 被澄清的污水由澄清液管道排出, 污泥先经过前锥段离心力脱水, 然后在后两叶片内进行全充满双向挤压, 进一步挤出

污泥毛细孔内水份, 在液压差速器自适应调整后保证泥饼的恒干度, 得到更干的泥饼, 再由柔性无轴污泥输送机移送至指定地点或直接装车外运。待处理的污泥连续不断输入, 澄清液及脱水污泥源源不断连续排出、输送是一个全自动处理过程。整套装置的加药、进料、污泥输送及主机的运行状况均由全自动 PLC 电—液控制箱检测、控制, 使该装置成为全自动的成套操作单元是一个理想的交钥匙工程。

该污泥脱水（浓缩脱水一体）高干度离心机有如下独特的优点:

1. 采用大长径比 $L/D \geq 4.3$ 、高转速、小差速系统。大长径比增加物料在机内澄清及脱水停留时间。高转速具有很大离心力、小差速减少螺旋对物料的搅拌, 增加脱水停留时间, 从而提高物料脱水与澄清的分离效果, 比一般的卧螺离心机可得到更干固渣与更清的澄清分离液;
2. 采用大扭矩液压差速器: 具有推料扭矩大(同等体积下, 推料扭矩大比机械差速器大 2~4 倍);
3. 液压差速器具有差速根据负载变化, 差速自动反馈调节, 推料功率自动补偿, 使固渣在机内不仅受离心压力, 而且在前端二个螺叶间作双向挤压以保证固渣的恒定干度, 得到更干的固渣。排出固渣后自动恢复初始差速, 不易发生堵料情况;
4. 初始差速调节范围广, 无级可调差速调节范围 1~20r/min, 差速设定范围: 0~20 r/min;
5. 转鼓排渣口, 螺旋进料口及推料面叶片喷焊 W₂C-65%, 超硬耐磨材料, 厚度 2~3mm, 与镶片相比, 具有耐磨性好, 不脱落等优点, 延长了使用寿命, 使用寿命与螺旋相同;

6. 与物料接触部分均采用优质不锈钢材料制作；
7. 转鼓采用变频无级调速；
8. 本机型为逆流式机型，可用于污泥脱水、浓缩、浓缩脱水一体；
9. 机上装有振动、温度、差速自动反馈调节、超载等故障报警装置。

污泥脱水（浓缩脱水一体）成套设备电器控制系统：

电气控制系统内装有分离主机、液压系统、进料泵、加药泵的控制变频器、PLC 控制器及相关电气元件。

功能：

脱水系统电控柜（装有脱水机、液压系统、进料泵、加药箱等控制变频器，PLC 控制器和相关电器元器件）；

- a. 具有自动/手动控制脱水系统相关设备；
 - b. 具有大、小端轴承温度、脱水机转-差速、推料扭矩、流量、运行累计时间以及电量参数（电压、电流、功率等）等显示（数显）；
 - c. 根据推料扭矩自动控制脱水机差速，避免堵料；
 - d. 根据进料浓度自动改变进料量，以保持排出干泥量稳定；
 - e. 具有近 30 种异常和故障检测、报警和联锁保护功能；
- (1) 投配药系统电控箱（装有 PLC 控制器和其他相关电器元器件）；
- a. 可以全自动/手动控制整个投配药工艺流程；
 - b. 具有近 10 种异常和故障状态检测、报警和联锁保护功能；
- (2) 管理系统电控柜（装有 PLC 控制器及相关电器元器件）；
- a. 具有自动/手动控制预处理系统中相关设备；
 - b. 具有预处理系统中相关设备的异常和故障状态检测、报警和连锁保护功能；
 - c. 可以实现与现场 PC 和中控室上位机之间双网通讯（以太网）；
 - d. 可以控制多套脱水系统和投配药系统的启、停、急停；
 - e. 在现场 PC 上实现各形组态，以显示各种主要工艺参数及各控制系统的相关设备工作状态；

三. 工艺方案选择

1. 卧螺离心机与带式压滤机的比较

在污泥脱水(浓缩脱水一体)工艺中，浓缩脱水设备主要分为两大类：卧螺离心机与带式压滤机（简称带机）。早期的污水厂主要采用带机，随着离心机性能的日趋完善，以及工业自动化技术在传统产业中的广泛采用，采用卧螺离心机作为脱水主机的污泥脱水成套设备已成为目前

国际上污水处理工程中的主流设备，表（1）为相同生产能力的高干度离心机与带机的综合性能比较。

序号	名称	液压高干度离心机	带机	比率	备注
1	加药量 kg/tds	1.5~2.5	3~5	1: 2	离心机耗药量小
2	脱水泥饼含固量	高（离心力+挤压力） 5~10 百分点	低		节省泥饼处置费用
3	占地面积	小	大	1: 5	带机脱水机房大 基建投资大
4	操作人员	可实行无人操作	需人工管理		选用离心机 日常人工支出小
5	辅助设备	无	多：（空压机、洗清水、通风设备）		选用压滤机时辅助设备 功耗、投资大
6	大型化	易：（单机处理能力大）	困难：（结构庞大）		带机脱水机房大 基建投资大
7	自动化程度	高：连续操作，自动控制，可做到智能化无人管理	差：需人工管理		
8	现场环境条件	好 （密闭管道式）	差（敞开式）臭味大，会产生二次污染		压滤机臭味大
9	日常维护费用	小	大（更换滤网、）		
10	生产管理	好：方便可靠，可无人操作	差：人工管理		
11	分离效果稳定性	好：（参数调节后由系统自动控制）	差：（人为因素大）		
12	运行可靠性	好	尚可（有跑偏现象）		

13	成套设备总的功率消耗	较小	大	2: 3	使用压滤机, 如脱水机房装通风设备后, 总功率比离心机大
14	基建投资	小	大	1: 2	选用离心机厂房面积、增地费用、基础费用小
15	设备投资	小	略大	1: 2	如过滤机需通风设备, 则总设备投资比离心机大

由此可见, 采用卧螺离心机的成套设备具有操作维护方便, 自动化程度高, 工作环境条件好, 分离效果人为因素影响小, 日常运行费用小 (主要是水、电、药剂及操作人工的费用), 辅助设备少, 占地面积小, 总体投资少等诸多优点, 因此近年来, 国内外在污泥浓缩脱水工艺中已大量选用离心机, 并逐步取代压滤机。

2. 不同类型卧螺离心机的比较

目前在污泥脱水成套设备中使用的卧螺离心机, 已由最初不可调速的机械差速器卧螺机 (简称机械型)、发展为可调速的双驱动机械差速器卧螺机 (简称双电机型) 和液压差速器卧螺机 (即高干度卧螺离心机, 简称液压型), 它们的差别主要在于:

1. 差转速形成方法的不同, 导致设备电能消耗的明显差别

机械型和双电机型是通过带轮变速或双电机驱动, 形成转鼓、螺旋各自的独立的绝对转速, 差转速是这二个绝对转速的差值 (即它们之间的相对转速); 液压型的差速器实际是固定于转鼓并随之同步旋转的液压马达, 当液压泵站通过特殊的高压旋转分配器向液压马达供油时, 螺旋才会在液压差速器的驱动下, 产生叠加在转鼓转速 (螺旋的牵连转动) 上的相对转动, 从而形成转鼓、螺旋之间的差转速。

脱水机在空载或轻载运行时, 三种机型的能耗没有差别。但负重运行时, 由于物料的牵连作用, 将给机械型、双电机型各自独立的驱动源造成相互抵消的额外能量损耗, 而液压型是通过增加液压马达 (转速低于 30r/min) 的扭矩来承受牵连作用, 则不产生上述的能量损耗。反映在设备的实际运行中, 液压型的能耗明显降低。

2. 转鼓、螺旋结构的不同, 导致设备脱水能力的明显差别

由于液压差速器对负载变化有良好的自适应性, 因此在转鼓、螺旋的结构设计中就可针对城市污泥脱水较困难的特点, 有意识地加大对脱水污泥的挤压度, 即形成在前端螺旋叶片对污

泥的双向挤压效应，以提高污泥的脱水效率。而其它机型因为担心过载堵料，则不能采取这样的设计。

3. 差速与转速关联性的不同，导致设备维护成本的明显差别

设备排堵是机械型卧螺机最头疼的维护工作，一旦出现机器堵料，只能解体整台卧螺机转鼓，将污泥一点点地清除。不但耗工费时，且极易损伤转鼓。而液压型的差转速与转鼓的转速无关，可在整机静止的状态下，通过低速大扭矩的液压差速器的强力且极其缓慢的正反推动，逐步将污泥排出转鼓，由于最大安全扭矩可以通过设定液压系统的溢流压力来控制，因此液压型卧螺机的排堵不会损伤设备。

3. 三种类型卧螺离心机的性能比较

序号	名称	液压型（国际先进水平）	机械型（已淘汰）	双电机型
1	输出扭矩	输出扭矩大：比机械大 2-4 倍 具有推料力矩显示（压力值）。	小 无	小 有
2	报警输出 安全保护	具有超载报警输出端子： (1) 初始压力：控制进料泵，差速反馈控制。 (2) 最高压力报警：控制停机。 (3) 压力安全保护。	无	最大扭矩报警：控制 停机
3	可实行小差速	最小 1r/min（提高分离及脱水效果）。	最小 10r/min。	最小 5r/min。
4	初始差速调节范围与调节方法	1—20 r/min 在运行状态下无级调节，调节方便。	调节差速需停机更换带轮，极为不便。	可无级变速
5	差速自动反馈，推料功自动补偿，堵料情况	当初始差速调节后，在推料进程中发生超载堵料时具有差速自动加快，功率自动补偿，差速反馈补偿范围大，不会产生堵料情况。	无差速反馈补偿； 易堵料	无差速反馈补偿； 易堵料
6	在主机转速变化时	差速不变，保持原设定初始差速，推料力矩不变（易实行小差速）。	随转速下降差速减小，推料力矩下降（不易小差速）。	随转速下降差速减小，推料力矩下降（不易小差速）。
7	对物料浓度变化适用性	强：具有差速自动反馈，功率补偿，推料力矩大。	差。无功率补偿，差速自动补偿，易发生堵料。	差。无功率补偿，差速可自动补偿，易发生堵料。

8	发生堵料故障处理	基本不发生堵料，万一堵料，则可在转鼓停止时启动液压排渣，可不必拆机清洗，排除故障方便。	易发生堵料，当堵料时，只能拆机清洗，排除故障不便。	易发生堵料，当堵料时，只能拆机清洗，排除故障不便。
9	实行自动控制	方便：带有初始压力报警端子及切断进料泵供料，差速自动反馈，功率补偿，自动排除超载故障，排除故障后自动恢复初始状态，自动控制，堵料故障率低，对浓度变化适用范围大；当压力达到最高压力，可自动停机，同时切断其它连锁装置。	困难 无此功能	可 无差速自动反馈功率补偿及恢复初始差速功能，可自动停机及连锁。
11	泥饼脱水率	高（泥饼含固率可提高 3~8%）	差	尚可
12	能耗	小 50%	较大	大
13	药耗	小 30%	大	大

三、应用实例介绍

离心所制造的成套设备均采用了目前国际上最为先进的高干度卧螺离心机，并取得了二十余项成功业绩。如：

例1. **上海市曹杨水质净化厂**，原来采用进口的 2 台机械差速器的卧螺机，按一用一备配置，由于机械差速器的卧螺机难以适应动态变化的污泥浓度，而经常发生设备堵料，以致整个污水厂不能正常运作，为摆脱这一困境，该厂于 1998 年初选用了离心所生产的 LW350 × 1550NY 液压型高干度卧螺机。因该机采用国际先进的带有差速自动反馈调节、负载自动适应及推料功率自动补偿的液压差速器，经过 6 年的运行，整机运行性能良好，创造了 12000 多小时的无故障记录。该机污泥处理能力大，出泥含水率、加药量、平均固相回收率等分离性能均达到厂方提出的工艺要求。

6 年多的运行记录表明：该机运行性能可靠，分离效果好，电耗、药耗小，运行成本低，尤其是没有发生过以往老设备经常碰得到堵料故障，综合运行水平明显超过同厂的 2 台进口卧螺机。具体机械运行、分离性能参数如下：

机械运行参数表

No	参数名称	额定值	实测数据
1	初始差速 (r/min)	2~25	2
2	推料力矩 (N·m)	3700	1200

3	运行电流 (A)	40	18
4	振动烈度 (mm/s)	11.2	<4
5	噪音 (dB)	90	81

分离性能参数表

No	参数名称	工艺要求	实测数据
1	进料浓度 (%)	1~3	1~3
2	处理量 (m ³ /h)	8~15	15
3	加药量 (kg/tds)	2~4	1.8~2
4	脱水泥饼含水率 (%)	≤80	75~78
5	平均规划回收率 (%)	95	99

例2. **杭州祥符水厂**, 规模为日产自来水 30 万吨。水源为太湖支流水, 进料浓度 2~3%, 要求离心机脱水后的含固量>25%, 固相回收率≥95%, 加药量 2~4kg/tds, 2002 年, 杭州祥符水厂采用了离心所制造的以 LW400×1750NY 卧螺离心机为脱水主机的污泥脱水成套设备, 其单机分离指标为: 污泥处理量 9~16.6m³/h、泥饼含固量>35%、固相回收率>99%、加药量阴离子<2kg/tds, 当进料量为 16.9 m³/h 时, 成套总功率为 14.7kw, 所有运行指标都超过合同的要求。

例3. **广州自来水公司西洲水厂**, 规模为日产自来水 50 万吨。水源为江河水, 进料浓度 3~5%, 要求离心机脱水后的含固量≥25%, 固相回收率≥95%, 加药量≤4kg/tds, 2000 年, 离心所在国际招标中, 击败国际著名公司, 一举中标。西洲水厂采用了离心所制造的以 LW530×2270NY 卧螺离心机为脱水主机的污泥脱水成套设备, 其单机分离指标为: 污泥处理量 22~35m³/h、干污泥排量>1.2T/h、泥饼含固量>35%、固相回收率>99%、加药量阴离子<2kg/tds, 所有运行指标都超过合同的要求。由于离心所产品在西洲水厂的出色表现, 使得 2003 年 12 月, 在广州自来水公司南州水厂 (规模为 100 万吨) 的国际招标中, 离心所又投标成功, 获得全部 4 个台套污泥脱水成套设备的订单。目前, 在自来水行业的中国市场中, 采用离心机的污泥脱水成套设备成功业绩中, 离心所处于绝对的领先地位。同样由于西洲水厂的成功业绩, 杭州祥符水厂、贵阳西郊水厂、湖南株州第四水厂等自来水厂都相继选用了离心所制造的配置高干度液压差速卧螺机的污泥脱水成套设备, 而且运行情况良好。

例4. **深圳市南山污水处理水厂**, 建厂初期采用的是从国外进口的 3 套带式压滤机, 由于上述的种种弊端, 2000 年二期工程决定采用卧螺离心机, 为慎重起见, 厂方先采用了双电

机型离心机, 加药量 4 kg/tds, 处理量 18M³/h, 固相回收率 95%, 脱水后泥饼含固率 23%, 系统能耗超过 45kW。由于该卧螺机的运行状况没能达到合同要求, 而且经常堵料, 2002 年南山厂通过国际招标选购了离心所同等规格的液压型高干度离心机, 污泥进料浓度 4%, 加药量 2kg/tds, 处理量在 40 M³/h 时的固相回收率 >95%, 脱水后泥饼含固率 >33%, 系统能耗仅为 25~32kW。在近一年的实际运行比较中, 液压型离心机的优势充分显现:

- a) 处理量超过 40M³/h (最大为 50M³/h), 与其它 4 台设备 (3 台带机加 1 台双电机型卧螺机) 的处理总量相当;
- b) 单位电耗为 0.8 kw/m³, 是其它设备的 30%;
- c) 单位药耗 2kg/tds, 是其它设备的 50%;
- d) 泥饼的含水率降低 10%;
- e) 噪声、臭味、维护成本等方面的优势也非常明显。

由于曹杨、南山厂、云南个旧污水厂等的成功运行, 充分显示了高干度 (液压型) 污泥脱水成套设备在可靠性、低能耗、低药耗及售后服务方面的明显优势, 以致广东中山污水厂、东莞污水厂在充分体验进口污泥脱水成套设备运行效果和服务后, 转而选用离心所的产品; 杭州七格污水处理厂一期采用带式压滤机, 在二期工程中已订购了离心所 LW530 × 2270NY 污泥脱水机共五台套, 单机处理能力达到 66m³/h; 上海闵行水质净化厂也由一期的带式压滤机改成使用离心所的 LW530 × 2270NY 污泥脱水机共二台套。

离心所部分产品的实际运行参数

序号	物料名称	进料浓度 含固量 ss	脱水后泥饼 含固量 ss	平均固相回 收率	药耗 kg/t.ds	能耗 kw/tds	能耗 kw/m ³	备注
1	城市生活污水	0.5~1%	20~28%	≥95%	2.5~3.5		0.6~0.8	
2	城市生活污水	1.5~5%	20~35%	≥99%	1.6~4	15~30		
3	自来水厂污泥	0.6~1.2%	25~35%	≥95%	2~3		0.6~0.8	江河水
4	自来水厂污泥	0.6~1.2%	20~30%	≥95%	2.5~4		0.6~0.8	湖泊水
5	自来水厂污泥	2~5%	30~45%	≥99%	1.5~3	20~30		江河水
6	自来水厂污泥	0.6~1.2%	25~40%	≥99%	1.5~3	25~30		湖泊水
7	石油钻井污泥	2~7%	25~30%	≥97%	2~3	26~30		
8	炼油厂污泥 (浮渣)	2.5~5%	22~30%	≥98%	2.5~3.5	26~30		
9	高炉灰	10~30%	70~80%	≥99%		20~25		

10	制革污泥	2~5%	20~30%	≥97%	2.0~3.5	20~30		
11	电厂污泥	1~6%	40~45%	≥99%	1.5~3	20~25		

四、结论

通过上述分析可知，采用何种设备作为成套设备的污泥脱水主机，是决定成套设备整体性能的关键所在，从污水处理产业国际水平的发展趋势和上述的分析可以得出以下结论，采用液压型的高干度卧螺离心机作为污泥脱水主机，不但在技术、经济上是整体方案的最佳选择，而且也符合目前的国情，具有很强的可操作性。具体理由是：

- 1、成套设备的技术性能体现了污泥脱水技术的发展趋势，并具有国际先进水平；
- 2、电力消耗不到其它方案的 50%，从我国环保产业的长远发展上看，很大程度上缓解了发展环保事业与电力缺口严重的矛盾，具有深远的战略意义；
- 3、工程项目的综合投资费用小、运行成本低，更利于污水处理工程在欠发达地区的普及发展；
- 4、离心所与国际著名污水处理离心机制造厂商德国洪堡公司合作，批量生产单机处理能力 10~100m³/h 卧螺离心机出口德国，至今已累计达 100 多台套。在消化吸收国际先进技术的基础上，离心所研制并批量生产了具有国际先进水平的污泥脱水成套设备(包括最大转鼓直径为 900mm 的国内最大的液压差速离心机)并取得 40 余套的成功业绩。

普茨迈斯特污泥输送和储存系统

张伟 孟自力 付雷

(普茨迈斯特公司)

1, 概述

1.1 脱水污泥处理的发展趋势

近年来, 随着经济的高速发展和环保意识的不断增强, 污泥的最终处置越来越受到了各国政府的高度重视, 并根据各自的国情制定出了相应的处置法规和方案, 污泥的处理已经逐渐成为污水处理厂中最重要的组成部分。

1.2 普茨迈斯特公司简介

普茨迈斯特 (Putzmeister, 以下简称 PM) 公司成立于 1958 年, 总部设在德国斯图加特附近的 Aichtal。公司始建时主要生产混凝土输送泵, 1977 年开始生产应用于工业领域的液压柱塞泵, 1979 年 PM 公司为德国柏林 Marienfelde 公司提供了 4 台 KOR 液压柱塞泵, 用来输送板框压滤机产生的泥饼并取得了巨大的成功。到了 1993 年, 随着污泥处理技术的不断发展, 公司开始制造污泥料仓。迄今为止, PM 公司已在全球范围为污水处理厂提供了泥饼泵 300 多台, 污泥料仓 150 多套。PM 公司的污泥输送和储存系统为污泥处理的高效运行提供了有效的保障。

2.1 脱水污泥的收集和输送

污泥经脱水机脱水后, 一般含固率在 18%至 35%之间 (带式压滤机 18-25%, 离心脱水机 23-30%, 板框压滤机 30-35%), 完全没有流动性。这时可用无轴螺旋输送机将其收集并推送至 PM KOS 污泥泵的接料斗内。接料斗上方配备超声波料位计来控制料位和泵的排量。在污泥泵的接料斗下方配有液压驱动的双螺旋喂料器, 有效地将污泥推进泵腔之中。污泥泵将污泥输送至污泥储存料仓之中。

2.2 外来污泥的接收和输送

如果污泥处理系统还需用来处理来自同一城市的其他污水处理厂的污泥, 则只需增加一座 PM 矩形污泥接料料仓和与之匹配的 KOS 卸料泵即可。当满载外来污泥的卡车到达时, 接料仓的仓盖自动开启, 卡车将污泥倾倒至接料仓中。接料仓一般可以接纳 2 到 4 辆卡车的泥量。接料后, 安装在仓底的污泥泵也将污泥输送至污泥储存料仓之中。

2.3 污泥管线的分配

如果系统中有多个污泥储存料仓, 则可在污泥输送管道上配备多个 2 (或 3) 路球阀或多路液压分配阀, 通过控制 (现场或中央控制) 球阀的开关, 将污泥输送至所需的污泥料仓内。

2.4 污泥的储存

PM 污泥储存料仓的净容量一般设计为储存污水处理厂 1 天或 2 天的产泥量。料仓上方装配有超声波料位计，用来指示仓内的料位和提供污泥泵及阀门的控制信号。污泥料仓仓底为平底设计，配备了液压驱动的滑架破拱装置，确保污泥的卸料和防止污泥起拱。在滑架破拱装置下方配备了液压驱动的螺旋卸料器，使污泥能按所需的位置准确而高效地卸料。

2.5 污泥最终配送

根据不同的污泥处理工艺，PM 储存料仓中的污泥可提供三种卸料方式：1，如果只是卡车外运，就在仓底的螺旋卸料器的出口加上一个液压驱动的闸板阀（一般 DN500-DN700），直接向卡车卸料即可。2，如要对污泥进行进一步的处理，如干化，焚烧，堆肥，晾晒或就地填埋，则可在仓底的螺旋卸料器下连接一台或多台 KOS 污泥输送泵，直接将污泥送至所需地点。泵送的距离可长达 1 公里以上，如有需要，还可配备 PM 注膜减压系统来降低管道摩擦阻力，以减少功耗，节省能源（本工艺可详见下文英国卡地夫污水处理厂工艺流程图）。3，如果仓中的污泥一部分既要装车外运，一部分又要进行进一步的处理，PM 同样可提供综合了以上两种方式的多功能卸料方式（详见下文杭州七格污水处理厂工艺流程图）。

当然，处于节省资金的考虑，PM 也可提供最经济的输送方案，即将脱水机产出的污泥直接输送至堆泥场或堆肥场等污泥处置地点（详见下文北京高碑店污水处理厂工程实例）。

2.6 PM 的控制系统

PM 的所有设备都选用液压驱动，每套设备都选用 PLC 控制系统，所有单组控制均可通过 BUS 系统将信号输送至中央控制室。

3, PM 设备及系统特点

3.1 PM KOS 摆管泵的特点

3.1.1 KOS 摆管泵适用于大颗粒（可达输送缸直径的 1/3），高粘稠，高固体含量的输送介质，特别是污泥脱水中加入了高分子聚合物，使污泥更加粘稠，因此，KOS S-摆管泵是脱水污泥的最佳输送设备。

3.1.2 设计：该泵没有阀体，是通过 S 摆管的摆动，来实现两泵缸的进料和出料的转换；S 摆管的转换是由外设的双液压油缸驱动，因此，受力情况好，定位准确，结构简单合理，维修保养方便。

3.1.3 结构：KOS S-摆管泵具有最佳的进料效果，S-摆管泵的泵缸进料口直接开口于泵腔中下部，供料充足，使污泥可直接进入泵缸而提高进料效率，喂料比可达到 75%以上。因此，KOS 泵具有最高的污泥输送效率。

3.1.4 运营成本：S-摆管泵的最大特点是移动（磨损）部件少，使用寿命长就意味着成本低。

3.1.5 泵的输送缸双层镀铬，大大提高了抗腐蚀性和耐磨性。

3.1.6 泵液压驱动系统是 PM 发明的“自由流液压系统”(获有专利证书),该系统简单,可靠,顺滑,无压力峰值,是一套运行平稳且节能的液压系统。

3.1.7 根据 PM 20 多年在污水处理厂方面的销售记录中可以看到,70% 的污泥泵均为 KOS S-摆管泵。

3.2 PM 污泥料仓的特点

3.2.1 仓体滑架装置,PM 公司采用有限元分析法设计,受力情况好。独特设计的“隧道”系统缩短了滑架驱动油缸在仓体外部的突出部分,使料仓设计更加合理紧凑;减少了仓体总占地空间,也使现场布置更加紧凑并节省投资。同时,保护轴承不受污泥的侵入而造成磨损。整组联接杆及轴封以“隧道”保护,隔绝污泥与油缸的接触机会。

3.2.2 出于安全考虑,卸料滑架通过行程开关监测冲程。如果发现冲程过长,将自动反向滑动并发出故障信号(不间断运行)。滑架液压回路采用压力监控,如发生堵塞滑架将自动反向运行。

3.2.3 污泥储存料仓的液压动力包用于驱动滑架,螺旋卸料器和卸料闸板阀,驱动平稳有力。卸料闸板阀关闭时间小于 2 秒,可避免关闭时间慢对人员和运输设备造成的危险。另外,PM 可配备一个紧急关闭装置,在临时断电的情况下,蓄能器的储存压力可在瞬间卸压使阀门立即关闭,保证无污泥从仓中漏出。

3.2.4 螺旋卸料器与料仓的连接是用螺栓固定在螺旋槽上的,这样螺旋端轴是在槽的内部。因而螺旋槽,轴及密封可共同在车间内加工以确保质量并延长工作寿命。

3.2.5 储料仓的滑架轴承密封采用新一代设计的密封,滑架轴承腔的密封十分严密,只能由中央高压自动润滑系统向其注入润滑油脂,大大延长使用寿命。

3.2.6 滑架材料采用的是 St52 号钢,耐磨性强,可靠性高,使用寿命长。

3.2.7 从连接杆到滑架,PM 采用柔性引导元件连接,受力均匀,磨损小。联接杆与滑架的连接位置是在滑架的中央,使油缸对滑架的推力分布是均匀的。轴向受力小,以 5.5 米直径罐体为例,其力矩为“力 x 2.5”,不易磨损。

4, 工程实例

4.1 英国卡地夫污水处理厂

4 台阿法拉法公司生产的离心机将污泥脱水成含固率为 25%的泥饼,脱水后的泥饼直接掉入位于下层的 PM KOS 污泥柱塞泵中,接着被输送到 PM 污泥储存料仓中。与此同时,其他污水处理厂产生的污泥被用卡车运到这里,直接卸到 PM 的方型污泥接料仓里,也被安装在料仓底部的 PM KOS 泵输送到污泥储存料仓中。安装在管线上的液压分配阀准确地将污泥分配到各个料仓之中。PM 的润滑注膜系统在污泥和输送管壁之间形成了一层润滑膜,减小摩擦,降低

能耗，保证了污泥的长距离输送。安装在储存料仓底部的 PM KOS 污泥泵将仓中的污泥连续 24 小时输送到安德里茨公司提供的污泥干化系统之中。

4.2 中国杭州七格污水处理厂

杭州七格污水处理厂于 2002 年购买了 PM 生产的 4 座 235 立方米的污泥料仓和两台 KOS1470 的干泥输送泵。从 2003 年 5 月正式投入使用至今，运行状况良好。

5 台带式压滤机产生的污泥被收集到两台污泥泵的接料斗里，泵的接料斗上安装了超声波液位计来控制料位。泵的排量为 $30\text{m}^3/\text{h}$ ，每台泵输送的污泥采用 DN200 的污泥管线经管沟爬升到料仓顶部，并通过球阀分配到两个料仓中。每个料仓直径 5.5 米，高 15 米，有效容积 200 立方米，底部配有滑架破拱装置，卸料螺旋和闸板阀。料仓顶部装有超声波液位计，对污泥料位进行自动控制。储存料仓中的污泥经液压闸板阀卸料至卡车（液压卸料系统能力为 $45\text{m}^3/\text{h}$ ），卡车将污泥运至污泥处置场。

2004 年 4 月该厂的二期项目又购买了 PM 两台同型号的干泥输送泵。目前其三期污泥干化项目正在筹建之中，PM 为其提供了既能向卡车卸料，又能向干化系统供料的多功能卸料方案（只需在现有系统中作一处改动即可，见流程图）。

4.3 北京市高碑店污水处理厂

2003 年 9 月，北京市高碑店污水处理厂购买了一台 PM 的 KOS 1470 型柱塞泵，用于将 7 台新增的带式压滤机产生的脱水泥饼，直接输送至原有的污泥堆置棚。泵的排量为 $30\text{m}^3/\text{h}$ ，输送管线长达 420 米，由于采用了地下管线，就是在寒冷的冬季，运行也十分理想。

5, 总结

PM 拥有丰富的污泥输送和储存的成功经验。可为中国客户量身订作最佳的技术方案；经过德国专家专职培训的项目经理将始终保证项目按德国标准严格执行；同时，上海售后服务中心（PM 在上海有子工厂，仅生产混凝土泵和泵车）可向用户提供优质，快速的维修和配件服务。PM 将为中国的环保事业作出巨大的贡献。

seepex-西派克污泥处理中的新生力量

—用于环保领域的西派克单螺杆泵

seepex-西派克单螺杆泵适用于输送沉淀污泥、氧化污泥、浓缩污泥、回流污泥和浮渣，为脱水设备给料，并输送脱水泥饼。可以说，没有单螺杆泵，污泥处理中心将一事无成。

BTI17-48 型泵在工作：它从离心机的污水泥里排出泥饼。从其侧面图中可以看出，该型号泵带有桥式破碎机和漏进料斗。

单螺杆泵以其独特的输送特点，在解决高粘度和非流动性物质输送问题上表现的尤为突出。这种泵可以输送或定量输送带有或不带有固体物的各种粘稠度的液体介质，它对腐蚀性或磨蚀性的介质也能应付自如。单螺杆泵的最大市场是在环保领域，它尤其适用于在污水处理中对污泥的排放和处理。seepex—西派克公司是一个著名的螺杆泵生产厂家，该公司可以针对不同的泥饼，提供不同的解决方案。在今年的 Envitec 展览会上，该公司展出了一种新型的污泥处理系统，它采用熟石灰添加剂，通过泵来输送和处理污泥并能使排放的污泥达到农业应用的标准。在针对用中间料仓定量输送污泥到干燥和燃烧环节工段的场合，该公司也设计和开发出新的料仓给料泵。下面介绍这两种泵的使用情况：

用于对脱水泥饼进行二次处理的泵

使用添加剂对泥饼进行的二次处理可以改善泥饼的原有状态。要想把泥饼用于农业的话，通常需要用生石灰对泥饼进行二次处理。生石灰与水的放热反应可以减少泥饼的含水率并改善其结构。通过把泥饼中的营养物质进行浓缩，可以使泥饼更好地应用于农业之上，同时通过添加生石灰，还可以使对泥饼变得更加杀菌消毒和卫生。在这种情况下，泥饼的 pH 值必须高于 12.5，而温度在两个小时之内必须达到 55℃ 以上。

在泥饼的卫生和稳定性方面，过程控制就显得非常重要。泥饼的混合要彻底，匀质化程度要高，这样才能使泥饼与添加物的反应趋于完善。美国所通用的 EPA (Environmental Protection Agency) 环境保护规程第 503 条中“Biosolids Rules”就把泥饼视为“Biosolids” (生物物质)，并从卫生的角度把泥饼划归到 A 级或 B 级这两个等级里。seepex—西派克泥饼二次处理系统由 BTI 螺旋输送泵、桥式破碎机、开放式料斗和 SLCO 控制装置组成，它可以满足对其运用的灵活性和过程控制方面的要求。

BTI 系列泵可用于输送高粘稠度、高含固量的物质 (TR 含量：18-45%)。

这种泵带有一个矩形的进料漏斗，漏进料斗下部设有一个圆柱形或圆锥形压缩腔和一个螺旋输送机，以便使泵腔 (定子和转子) 完全充满物料。进料漏斗的长度可以根据不同的使用条件单独进行匹配。为了维修方便，压缩腔体是可拆卸的。在泥饼二次处理场合，用生石灰把从板筐压滤机或离心机里排出来的泥饼再次进行混合输送和处理。在泵的输送过程中，石灰的添

加是在泵体上方的料漏斗里，通过桥式破碎机的两个反向但同步转动的摆轴和连接连轴杆上的进料螺旋机构螺旋输送机来实现的。添加石灰后，泥饼性能就变得稳定和均匀，同时，泥饼的固体物含固量也会有所增加。然后泥饼就被输送到一个集装箱、料盒仓、或泥饼储备场里，等待后续的处理。另外，在泵体的顶部漏落料斗里设有一个超声波传感器，用于测量物料的料位高度。通过结合使用泵的无级调速和 SLCO 调控装置，超声波料位测量装置可以使漏斗里的料位保持在一定的水平上，这样就使得石灰的添加量达到最佳。控制系统对下列的过程数据进行调控：

- 泵和桥式破碎机的转速调节和开关动作；
- 根据泥饼的含固量按比例添加石灰；
- 出口管道系统注入润滑剂控制；
- 干运转保护；
- 过压保护。

通过对温度的测量和记录可以确保过程控制的准确性，以便达到卫生排放要求。

可提供的BTI系列泵的规格为：流量 0.3 – 50 m³/h，最大压力 48bar。

用于对脱水泥饼进行再利用的泵

由于现实情况的变化（从 2005 年起，德国只允许有机物含量低于 10%的垃圾物可以被排放送到排土场里）和越来越多的人对污泥用于农业生产的做法提出了批评，所以人们目前越来越关注到通过干燥和燃烧来对污泥进行利用的讨论中去。属于热处理技术范围的主要有可对干燥物进行后续利用的干燥装置装备、固体燃料发电厂的直接燃烧装置装备和针对污泥排放的小型焚烧装置装备。为了减少泥饼的运输量，小型焚烧设备往往直接建在污水净化厂的附近。为了使泥饼的焚烧更具经济性，不应使用辅助燃料，所以一般会采取一些辅助性的措施，以提高热值。在这里，采用机械脱水和干燥来降低泥饼的含水量是十分重要的。焚烧作业是否成功，主要取决于所选用的设备、对泥饼所作的处理和泥饼的特性。污泥在经过脱水、干燥和加工后被制作成颗粒物。它可以被用做肥料，或者也可以被用在发电上。

单螺杆泵可用于泥饼处理的整个过程。BTI 和 BTE 系列泵可以把固体物含量为 25%~45%的泥饼从离心机和板筐压滤机输送到集装箱或中间储场的料仓里。BTI、BTE、BTEI 和 BTES 系列泵可用在泥饼处理中心，它与具体矩形的料仓特征相匹配，把泥饼从料仓输送到干燥器或焚烧高炉里。而 BTES 新型排料泵能严格按照剂容量要求把 TR 含量为 18~45%的泥饼从中间储场料仓输送到干燥装置或焚烧装置里。这种泵体可直接安装在料仓下方的料漏斗法兰上，取代传统的输送系统。这种泵体可以与不同尺寸的料仓系统相匹配。

与传统的输送装置相比，这种新型的料仓排料泵不管在技术上，还是在经济效益上都具有

明显的优势。以前在泥饼热处理中心一般都采用传统的螺旋输送机、皮带式输送机或柱塞泵来解决料仓排料问题。但是与BTES新型料仓排料泵相比，这些传统的输送装置都有各自不同的缺陷。例如在使用螺旋输送机时，如果要更换螺杆或进行维修作业的话，必须首先排空料仓。而排空料仓则是一件非常费时的事情。同时由于停机时间长，又临时需要中间储存环节，所以也会发生很多费用。再加上如果是垂直输送物料的话，设备的磨损程度还会加大，工作效率很低。而BTES新型料仓排料泵拥有一个封闭的系统，易损件（如定子和转子）的更换非常简便，料仓不必排空，泵体不用拆卸，也不需占用更多的空间。由于料仓排料泵使用了EDV控制系统，所以泵工作过程可以实现自动化。泵体的输送能力可达到 30 m³/h，压力可达到 48bar。

BTES 型料仓排料泵的优点：

- 能定量的把泥饼从中间料仓输送到干燥或焚烧环节工段（TR 含量为 18-45%）；
- 全封闭式料仓排料系统；
- 能与不同规格的料仓排料系统相匹配；
- 通过大截面的圆柱形压缩腔室能使泵腔充满物料；
- 泵带有全封闭系统；更换定子和转子更加快捷、方便，且料仓不必排空，泵体不必拆卸；
- 更换定子无需占用更多的空间；
- 在进行维修作业时，压缩腔室的外壳可以拆卸；
- 与传统的输送装置相比，投资费用明显减少；
- 输送过程可以实现自动化。

seepex-西派克新产品 BTH 型泥饼输运泵的开发，解决和改进了某些工艺中存在的问题。该泵的最大特点是两个独立的驱动系统，根据泥饼的不同含固率和粘度，选择相应的工作转速，从而满足用户的特殊要求。

seepex

西派克上海代表处
上海市徐汇区淮海西路
55 号
申通信息广场 15A
邮编： 200030
电话： +86.21.5298
9588
传真： +86.21.5298
9587
info.cn@seepex.com

seepex

西派克北京办事处
北京市朝阳区
高碑店村甲 1 号
邮编： 100022
电话： +86.139 1040
1659
传真： +86.10.6776 9478
info.cn@seepex.com

seepex

西派克广州办事处
广州市天河区
临江大道 501 号
邮编： 510655
电话： +86.139
2502 1208
传真： +86.20.3889
0479
info.cn@seepex.com

seepex

西派克青岛办事处
电话： +86.138
5329 9850
传 真：
+86.532.5085 358
info.cn@seepex.com

西原的污泥处理技术

株式会社 西原环境技术

地址：〒108-0023 东京都港区芝浦3-6-18

电话：+813-3455-4810

传真：+813-3456-3643

网址：<http://www.nishihara.co.jp/>

中国联系方法: 株式会社 西原 北京代表处

地址: 北京市朝阳区日坛路 6 号新族大厦702室 (邮编:100020)

电话: 010-6506-1377/1378 传真: 010-6506-1389

电子邮件: nishihara@263.net.cn

1. 西原的水处理及污泥处理技术概要

1914年, 一名叫西原修三的人设计施工并完成了日本的第一座污水净化槽。稍后他创建了一家专门从事水处理的工程技术公司, 这便是我们的「西原环境技术」的前身。历经80余年的风雨, 公司不断地发展壮大, 至今已成为拥有员工400余人、年营业额达287亿日元的水处理专业技术公司。在日本各地, 众多的城市给水、下水处理场和工业废水处理设施许多都是经我们的手建成。特别是采用了SBR工艺的公共下水处理场中, 一半以上是由弊公司承建的。另外值得一提的是, 西原自主开发了独特的利用酵母处理高浓度有机废水的酵母处理技术。

现在, 西原的业务领域包括了市政给水、市政污水污泥、中水循环再利用、粪尿卫生处理、垃圾填埋场渗出水处理、工业废水处理, 其中又以城市市政污水及污泥处理作为公司的主要业务。随着下水道普及率的不断提高, 我们研究开发了适用于不同规模及水质要求的各种处理工艺及机械设备

主要业务领域	适用规模	处理工艺	机械设备
污水处理	中小规模	序批式活性污泥法(IC工艺)	自动旋转式格栅、微气泡射流曝气装置、IC滗水器、IC控制器、紫外线消毒装置、曝气转刷、中空丝微滤膜等
		氧化沟(OD工艺)	
		厌氧好氧滤床法(NAABF)	
		膜分离活性污泥法(MacBio)	
		高效好氧滤床法(NBSS)	
		酵母循环系统	

	大规模	普通活性污泥法及其各种变法	射流除砂泵、沉砂洗净装置、初沉池设备、曝气池设备、二沉池设备
污泥处理	全规模	浓缩、消化、脱水、干燥、堆肥化	离心滤布浓缩机、离心浓缩机、螺旋搅拌机、离心脱水机、带式脱水机、离心造粒干燥机、低温除湿干燥机、各种堆肥装置

2. 市政污泥处理及其主要机械设备

2-1. 西原的污泥处理技术

西原的污泥处理历史可追溯至1923年, 从那时起, 根据各个时期的不同需求开发研制了各种污泥处理工艺和相应的机械设备。从创业者开始, 污泥处理的节能化、资源的有效利用和循环化就是我们一贯坚持的宗旨。至今, 有机性废弃物的综合处理已成为新时代的要求。对此, 西原将不局限于单纯新技术的开发和单体机器的研制, 而是更追求将水处理技术和资源再生技术有效融合, 推出实现具有生产机能的综合处理设施。

西原公司根据污泥处理的社会性需求的变化及要求, 可以为客户提供不同的污泥处理系统解决方案。诸如通过浓缩、脱水、干燥和焚烧等固液分离技术的应用达到大量市政污泥的减量化目的; 通过消化、堆肥、建材制造等有机物分解和能源·资源回收再利用技术达到污泥的安定化及资源化目的。

2-2. 应用于污泥处理领域的代表性机械设备

2-2-1. CS型离心式污泥浓缩机

市政污水处理厂的剩余污泥沉降性恶化现象时有发生。而污泥浓缩则因其处理效果的好坏直接影响后续处理工序的性能，因而在整个污泥处理过程中占有重要位置。西原的离心式污泥浓缩机(CS)因具有操作性能良好、全自动运转、维护保养容易等特点，近年来深受广大用户的好评，得到广泛采用。如今，在对构造、运行方法、操作控制等方面进行了一系列的改良改造后，我们又开发出了较旧型机节能的高效型剩余污泥专用离心浓缩机。

2-2-2. SD型离心式污泥脱水机 西原于1969年开发出第一台将离心脱水装置应用于市政污泥脱水处理领域的离心式污泥脱水机(SD)。至今已开发研制了应用于净水处理、污水处理、工业废水处理、粪尿处理等各种污泥处理领域的多种型号规格的离心式脱水机。并深受广大用户的好评，在国内外市场已取得了突破6,000台大关的骄人业绩。凭借丰富的经验和业绩，改良型高性能机种不断地推向市场。迄今已推出改进的SD-DPV型、高效型SD-NNDP型以及活性污泥专用多功能型SD-NNWP型等系列型号。

2-2-3. 污泥堆肥系统

“取之于自然，当还之于自然”，80多年来西原始终以此为企业理念，坚持以资源再利用的观点开发和研究污泥处理技术。为此，弊公司于1973年在北海道的十胜地区建立了「鹿追试验农场」。在总面积48公顷的土地上利用有机性污泥堆肥对土壤进行各种从基础性到一般规模农业实验。同时从事从污泥干燥到堆肥化装置的开发研制和展开各种研究活动。30年来，以这块日本唯一的污泥专用试验农场为舞台，西原开发出多种污泥处理设备且已成功地应用于日本各地众多的污泥处理设施中。

SD离心式脱水机的基本特长:

- . 全自动无人运转，维护管理简单方便。
- . 无论是处理何种污水的污泥都能显示其优越的脱水性能。
- . 脱水设备采用一体化设计，可减少占地空间。
- . 采用密闭构造，防止了臭气、水滴、湿气扩散，可维持清洁的工作环境。
- . 单台处理能力是各类脱水机中最大的（可达100m³/hr/台）。
- . 如选择周边附属设备全部内置的一体化机型，可节省空间、减少噪音、简化设计安装和操作程序。

西原的废弃物堆肥化装置的研制开发，着眼于广大客户的不同需求、立足于基础性研究试

验。根据地域特性、废弃物源、堆肥制品品质等多方面考案,开发研制了针对各种污泥、家畜粪尿、厨介垃圾、农业残渣等综合堆肥化处理的系列化装置设备。

适应时代需求 实现高品质化以及各种有废弃物的融合处理 在日本,将市政污泥用于保养绿地虽然已有近30年的历史了,但是从污泥的处理和处置的观点来看,大规模进行污泥利用的必要性可以说也是在最近才真正被意识到。西原公司自创业以来,一贯坚持“取之于自然,还之于自然”的理念,并在此基础上着手进行污泥的农田绿地利用的研究。鹿追试验农场正是基于这一理念而开设的。充分利用多年的研究成果和大量的实际业绩,从利用者的角度出发,实现堆肥系统的设计、施工、咨询以及技术研究,是我们西原孜孜以求的目标。西原的污泥堆肥系统由于利用了迄今为止的多项科研成果,并根据实际业绩开发出了系列化多套系统,业已形成了可适用于多种不同需求的完整体系。 ●处理能力 几100kg/天~几100t/天 ●高品质化 造粒干燥、同多种添加物的融合处理发酵 ●环保措施 生物除臭、土壤除臭、以及其他 ●经济性 引进露天式堆肥系统 可提供能够充分适应不同地域特性以及产品品质、不同领域、家畜粪便 •生活垃圾 •绿地残渣 •农业残渣的融合处理的堆肥系统。

露天翻转式堆肥方式 适用于大规模堆肥处理。处理量大，投资成本低。但占地较大。

撮斗式翻料机式及旋转发酵机式

适用于大中规模的堆肥处理。处理量大，投资成本较低。但撮斗式翻料机式的卫生条件较差。而旋转发酵机式的投资成本相对较高。

成套型发酵装置

适用于中小规模的堆肥处理。污泥从干燥造粒、发酵、装袋等各工序都在成套型发酵装置内完成，实现了全自动化、操作环境佳以及高品质堆肥产品。但初期投资成本较高。

- 特长：
1. 一体化成套型，占地面积小。
 2. 全封闭式，运行环境佳。
 3. 适应不同原料污泥含水率，成品品质稳定。
 4. 全自动化无人运行操作。
 5. 不需另加添加物质，同样得到高品质