

PMCT 装配式膜覆盖堆肥系统研究

王 涛^{1,2}

(1. 机械科学研究总院环保技术与装备研究所, 北京 100044; 2. 机械工业有机固废生物处理与资源化利用工程技术研究中心, 北京 100044)

摘 要: 装配式膜覆盖堆肥(Prefabricated Membrane-cover Composting Technology, PMCT)是针对对于中小型堆肥项目和其他季节性特点的有机固废市场而研发的堆肥系统。该技术最大的特点在于系统的完整可装配特性和高度智能化,此外,在工艺理论方面具有三点创新:①增压保温环境的建立;②“夹心巧克力”堆体结构;③返料替代机械翻堆过程。通过系统组成以及建设运行过程的描述,展现了灵活、可靠、智能、经济等技术特点。2017年,PMCT工艺系统在唐山丰润污水处理厂针对市政污泥与花生壳粉的混合物料进行了两个单元完整周期的全流程模拟实验,取得良好效果,验证了PMCT工艺流程及具体工艺参数的可行性,此外还证明了PMCT与SACT具有类似的处理效果,在一定条件下具有互换性。

关键词: 装配式膜覆盖堆肥技术; 堆肥; 装配式; 膜覆盖; 有机固废; 污泥

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)20-0026-05

Study on the Prefabricated Membrane-cover Composting Technology (PMCT) System

WANG Tao^{1,2}

(1. Environmental and Ecosystem Department, China Academy of Machinery Science & Technology, Beijing 100044, China; 2. Machinery Industry Engineering Center of Organic Waste Biological Treatment and Resource, Beijing 100044, China)

Abstract: Prefabricated membrane-cover composting technology (PMCT) system is a compost technology developed for the medium and small-sized compost projects and other seasonal characteristics of the organic solid waste market. The main features of the system are the complete assembled characteristics and high intelligence of the system. In addition, there are three innovations in the process theory: ①the establishment of the pressurized heat preservation environment; ②“sandwich chocolate” pile structure; ③the process of recharging instead of mechanical stacking. Through the description of system composition and construction operation process, it showed the technical characteristics of flexibility, reliability, intelligence and economy and other technical characteristics. In 2017, the PMCT system carried out full process simulation experiments on two unit cycles of municipal sludge and peanut shell powder in Tangshan Fengrun Wastewater Treatment Plant, which achieved good results and verified the feasibility of PMCT process flow and specific process parameters. It was proved that PMCT and SACT had similar locations and interchangeability under certain conditions.

Key words: PMCT; composting; prefabricated; membrane-cover; organic solid waste; sludge

近些年,我国堆肥系统研究取得长足进步。以 SACT 高温好氧发酵系统为代表的国产先进堆肥处理技术被应用于污泥、生活垃圾等领域,并获得成功。SACT 技术的研发主要针对大型市政堆肥项目泥量稳定集中的特点,而对于中小型堆肥项目和其他具有季节性特点的有机固废项目,SACT 技术投资较高,系统较复杂,管理操作要求较严格,难以推广应用^[1-2]。

随着国家“2020 化肥零增长行动”的贯彻落实,以及畜禽粪便污染治理政策的趋紧,适合中小型堆肥项目特点——高可靠性、低成本的堆肥技术需求日益迫切。在机械科学研究总院科技创新基金的支持下,完成了装配式膜覆盖堆肥技术(Prefabricated Membrane-cover Composting Technology, PMCT)系统的全部研究工作,并已开展示范性应用。PMCT 系统的研发填补了 SACT 系统的空白,理论上在 0 ~ 100 t/d 的中小型污泥堆肥处理项目具备较高的性能/价格优势,此外可以作为 SACT 系统能力调蓄手段,以及存量污泥处理处置的有效解决方案,特别适合园林绿化废弃物、畜禽粪便、农业废弃物等有机固废处理。

1 PMCT 工艺研究

1.1 工艺原理

PMCT 是装配式膜覆盖堆肥技术的英文缩写,来源于膜覆盖技术(Membrane Cover Technology, MCT),是 MCT 堆肥工艺的优化改进形式。

MCT 是指高温好氧发酵过程在功能膜(半透性柔性复合膜)覆盖的环境中进行,控制料堆与周围环境的物质与能量交换,使排放的污染物(臭气、气溶胶)浓度低于规定的限值。从本质上讲,MCT 堆肥工艺是一种改良的静态条垛堆肥技术。基本原理是由人工控制,在一定的水分、碳氮比和通风条件下通过微生物的发酵作用,将污泥中的有机物转化为腐殖质的过程。其实质是污泥中的有机物在微生物作用下,通过生化反应实现转化和稳定化的过程。

与传统静态条垛堆肥技术相比,PMCT 最主要的创新采用了具有防水、透气功能的功能膜覆盖层(工作原理见图 1)^[3],在不影响对条垛通风曝气和去除水分的同时,可防止雨水对堆肥过程造成影响。目前该类技术被广泛应用于污水厂脱水污泥、生活垃圾、畜禽粪便、沼渣、餐厨垃圾、园林垃圾等领域的有机固废堆肥,并被用于填埋场改建过程中陈腐垃

圾处理和土壤修复领域。

传统 MCT 堆肥工艺在应用过程中也暴露出一些难以解决的问题:①需添加大量干物料以维持无翻堆情况下的孔隙结构;②由于无翻堆过程,堆体发酵不均匀;③堆体高度需依靠槽体结构,丧失灵活特点;④对操作者经验水平要求较高;⑤对特殊材料垄断的恐惧限制了技术的推广应用。

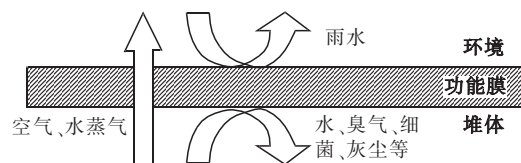


图 1 功能性覆盖膜工作原理

Fig. 1 Working principle diagram of membrane-cover

PMCT 在工艺研究方面取得了三点突破,在系统方面相对于传统 MCT 技术具有完全组合、拆分、再组装特性,有效解决了上述问题。

1.2 工艺流程

PMCT 工艺流程见图 2。污泥等目标物料经过与秸秆等辅料以及返料混合后,通过装载机或自卸车按照工艺顺序要求布料至 PMCT 发酵模块内,之后在发酵槽上铺设功能性覆盖膜并固定、封闭,由检测孔插入温度传感器;期间由温度传感器反馈数据,发酵中枢控制风机启停,进行间断曝气;停留时间达到设计周期后,收卷功能性覆盖膜,由装载机将发酵产物运输至指定区域,通过筛分系统作用,筛下物作为成品输出,筛上物作为返料进入下一周期。

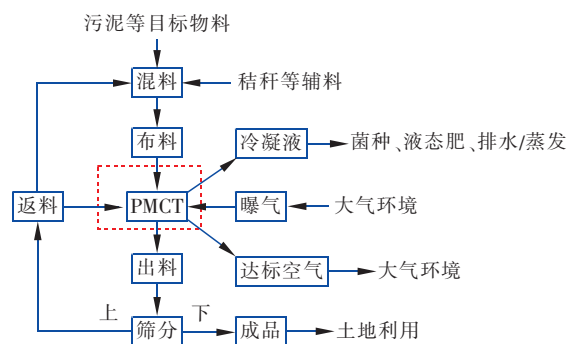


图 2 PMCT 工艺流程

Fig. 2 Flow chart of PMCT process

2 PMCT 工艺核心创新点

PMCT 同时具有槽式堆肥的效率和条垛式堆肥的简易灵活性,最大的特点在于系统的完整可装配特性和高度智能化。完整可装配特性体现在不破坏场地的前提下,系统所有部件可拆装重复使用,并且

无需专业施工安装人员即可实现全部装配过程。高度智能化体现在一键启动“发酵中枢”即可进入自动堆肥模式,通过内部控制软件及远程数据支持,无需专业人员即可完成堆肥过程。

除装配特性外,PMCT 系统与传统技术相比,在工艺理论方面具有三点创新:

① 增压保温环境的建立。PMCT 曝气过程由于受到功能膜阻力影响,堆体处于增压环境,一般高于大气压数百帕,这使得比传统堆肥系统具有更优的环境条件,提高好氧发酵反应速率。此外,PMCT 曝气过程由于受到功能膜阻力影响,膜与堆体间形成空气层,起到保温作用,这一点对于冬季、高纬度地区具有特别重要的意义。

② “夹心巧克力”堆体结构。PMCT 运行过程中,水分溢出会在覆盖膜内壁凝结,一部分滴落至堆体表层,一部分沿膜内壁流至堆体底部。堆体设计成如图3所示的“夹心巧克力”结构形式,返料(出料筛分所得筛上物)铺设在堆体最底层并覆盖在堆体表层,可以使布气层更加均匀并有效防止恒湿物料层对混合物料的影响。

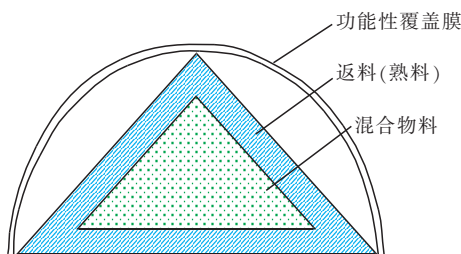


图3 PMCT 堆体结构

Fig. 3 Schematic diagram of PMCT pile structure

③ 返料替代机械翻堆过程。传统堆肥工艺返料工序目的是调解含水率与孔隙率,PMCT 系统除上述目的外,更重要的是对未腐熟的物料进行二次发酵,相当于将一次高效、彻底的翻堆过程融入到静态堆肥过程中。其中“高效”体现在成品筛分过程可以准确识别并筛选出内部发酵不完全需二次发酵的物料;“彻底”体现在出料、筛分、混料(部分)、布料过程的搅拌作用与传统翻堆机相比效果更好。

3 PMCT 系统组成、建设、运行及技术特点

3.1 系统组成

PMCT 系统根据装配特性分为 A、B、C 三个系列,其中 PMCT - C 具有完全意义上的可装配性,与地面没有任何连接,并且地面没有任何预设/预埋装

置。PMCT - C 系统组成如图4所示。

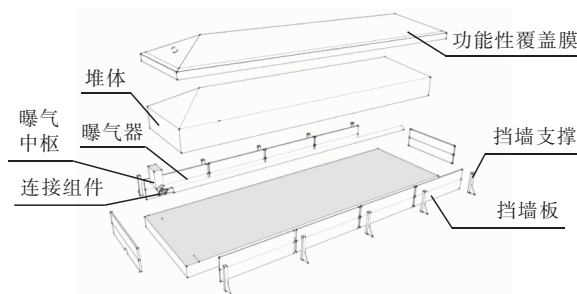


图4 PMCT - C 系统示意

Fig. 4 Systematic schematic of PMCT - C

3.2 建设过程

PMCT - C 系统所有组件均实现标准化设计,并且充分考虑了徒手安装要求,具有独特的“积木”特性,具体完成一个 PMCT - C 系统建设过程如下:①向销售者咨询,获得系统配置建议;②按照《PMCT 堆肥工程 场地要求指南(Q/OWTR 5.1—2018)》寻找一块满足要求的场地;③采购 PMCT 标准部件现货;④货物运输到现场(供货周期几乎可以忽略);⑤按照《PMCT 堆肥系统 安装作业指导(Q/OWTR 6.1—2018)》安装 PMCT 系统,按照《用户手册》要求配料,进料,联网,“一键启动”。

安装作业具体步骤:①放置挡墙支撑就位;②安装除堵头位置以外的所有挡墙板;③铺设曝气器;④放置发酵中枢就位并安装连接组件及电气、控制线路;⑤进料;⑥安装堵头位置挡墙板;⑦将功能性覆盖膜覆盖至堆体上并按要求与挡墙支撑紧固为一体;⑧控制发酵中枢联网,实现“一键启动”。

3.3 运行过程

PMCT 是典型模块化系统,可根据需求调整数量配置。全自动配置下 PMCT 网络系统构架见图5。

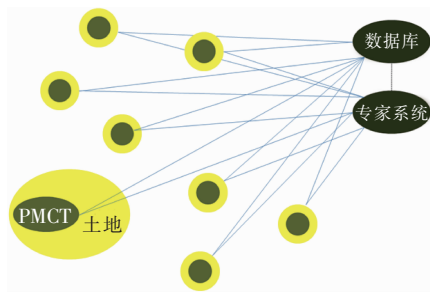


图5 全自动配置下 PMCT 网络系统构架

Fig. 5 Architecture of PMCT network system with fully automatic configuration

PMCT 运行控制分为简化、标准和全自动三档

配置,其中配置发酵中枢全自动模块的 PMCT 系统,在堆体启动运行后,后续的操作将由发酵中枢采集数据与远程专家系统共同自动完成,堆肥系统真正实现智能化运行。

3.4 技术特点

① 灵活性:a. 处理规模(停留时间)灵活,适合各种季节;b. 处理目标物料种类灵活,适合各种有机固废;c. 布置灵活,适合不同场地条件;d. 模块化设计,系统配置灵活;e. 安装灵活简便,甚至可以不走项目建设立项手续;f. 运行灵活,可根据物料发酵情况实施调整发酵周期;g. 销售方式灵活,设备租赁、代理销售甚至淘宝模式。

② 可靠性:a. 停留时间可调整,处理质量的可靠性提高;b. 流程非连续,生产过程的可靠性提高;c. 产品模块化、标准化,使用过程的可靠性提高。

③ 智能性:a. 系统一键启动,发酵过程无需人员值守;b. 系统具有自适应特征,发酵中枢将结合当地气候特点自动设置运行参数,并付诸实施;c. 具有智能诊断特征,发酵中枢将根据数据反馈对故障进行报警,并自动给出排除故障建议。

④ 经济性:a. 模块化的系统构造,建造成本低廉;b. 没有大规模电气设备,运行费用低;c. 标准化的备品备件机,安装方便,维护成本低。

4 工艺实验结果

唐山丰润污水处理厂污泥处理采用 SACT 系统,2017 年采用 PMCT 堆肥工艺系统在该厂针对市政污泥与花生壳粉的混合物料进行了两个单元完整周期的全流程模拟实验,每个单元处理 5 t 含水率为 80% 的脱水污泥。实验于 2017 年 10 月 26 日开始,11 月 12 日结束,共计 18 天。实验过程最低环境温度为 3 ℃,最高环境温度为 16 ℃,平均环境温度为 7.6 ℃,无降水。实验取得良好效果(见图 6~9),验证了 PMCT 工艺流程及具体工艺参数的可行性,此外还证明了 PMCT 与 SACT 工艺具有类似的处理效果,在一定条件下具有互换性。

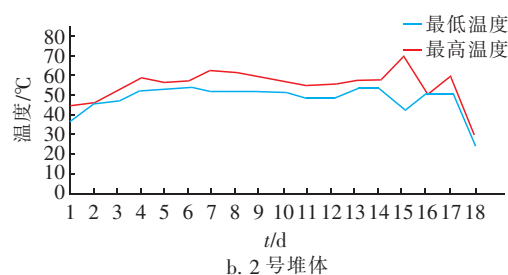
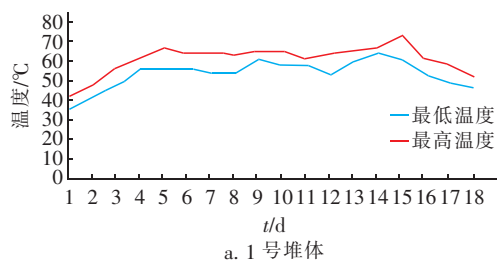


图 6 堆体温度监测结果

Fig. 6 Pile temperature monitoring results

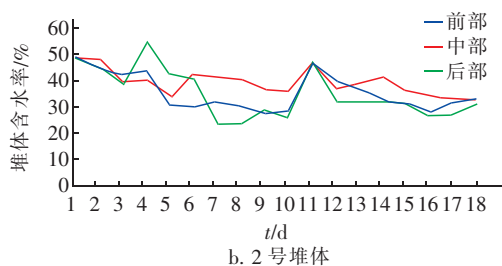
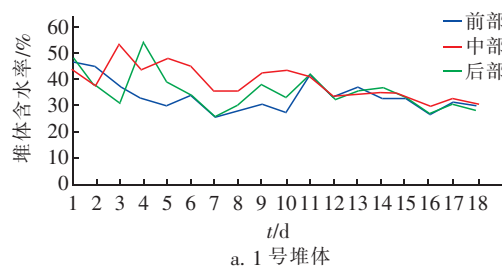


图 7 堆体含水率监测结果

Fig. 7 Pile water content monitoring results

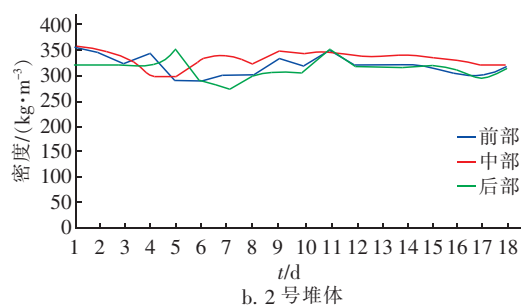
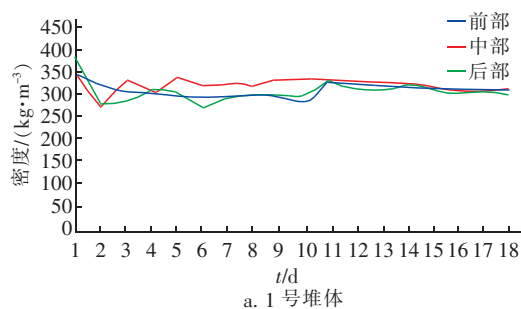


图 8 堆体密度监测结果

Fig. 8 Pile density monitoring results

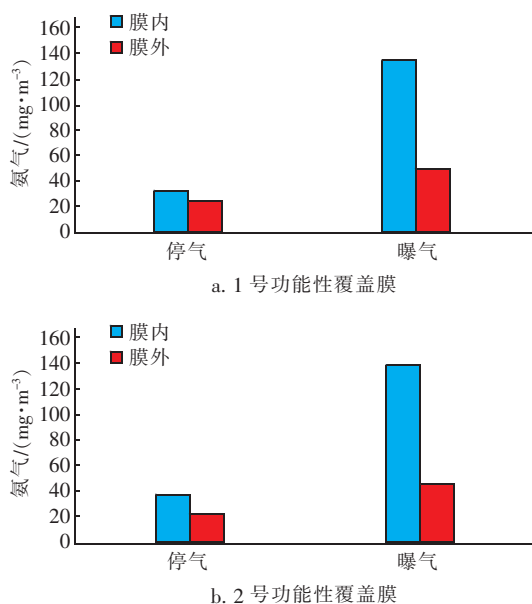


图9 功能性覆盖膜阻氨性能监测结果

Fig.9 Ammonia resistance of prefabricated membrane-cover

① PMCT系统各项工艺参数满足实际要求,具有实用性,堆体温度监测结果基本符合好氧堆肥温度经验曲线规律。

② 堆肥系统停留时间为18 d,可满足华北地区10月—11月环境条件下相关含水率指标要求,但初始条件需严格控制,考虑气温进一步下降,预期最不利停留时间为28 d。

③ 实验所表现出的堆体堆积密度基本相同,在现有条件下及反应周期内,并未出现堆体密实程度提高的现象,目前设定的工艺参数具有可行性。

④ 功能性覆盖膜的使用对于氨气的阻控具有明显效果,尤其在曝气过程中,1号膜对氨气的去除率为63.1%,2号膜为66.7%。

5 结语

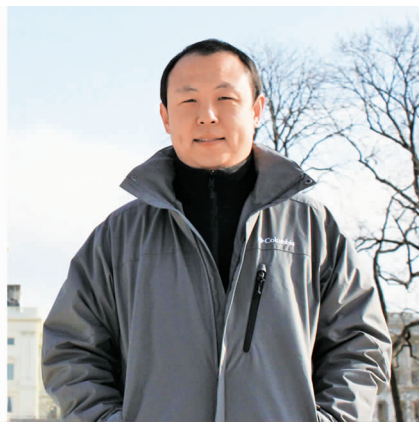
在较寒冷天气条件下,唐山丰润实验在工艺目的(温度、含水率)、堆体持续性(密度)和二次污染控制(氨气)等方面证明了PMCT系统的技术可行性,为进一步提升技术水平打下良好基础。

与先进的机械化堆肥系统相比,PMCT系统简易但不简单,所拥有的灵活、可靠、智能、经济的特点,使之具有更广泛的适用空间。可以预期,未来PMCT将与SACT一起共同构建中国原创堆肥技术的“高低搭配”技术体系,进一步促进堆肥这一古老

技术焕发出勃勃生机。

参考文献:

- [1] 王涛,邢家乐,兰轩花,等. SACT污泥高温好氧发酵技术与典型案例分析[J]. 给水排水,2014,40(7):24-27.
Wang Tao, Xing Jiale, Lan Xuanhua, et al. Analysis on the SACT high temperature aeration ferment technology and its typical application [J]. Waster & Wastewater Engineering, 2014, 40(7): 24-27 (in Chinese).
- [2] 王涛. SACT污泥堆肥工艺设计方法[J]. 中国给水排水, 2017, 33(24): 82-86.
Wang Tao. Design method of SACT sludge composting process [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(24): 82-86 (in Chinese).
- [3] 王涛. 膜覆盖条垛堆肥技术与应用案例[J]. 中国环保产业, 2013(12): 25-28.
Wang Tao. Twig buttress compost technology of membrane cover and application cases [J]. China Environmental Protection Industry, 2013(12): 25-28 (in Chinese).



作者简介:王涛(1974—),男,辽宁沈阳人,硕士,研究员级高工,研究生导师,注册咨询工程师,注册一级建造师,机械科学研究院环保技术与装备研究所(机科发展科技股份有限公司)副总工程师,机械工业有机固废生物处理与资源化利用工程技术研究中心副主任兼总工程师,主要从事有机固废处理处置、污水处理等领域工艺与设备方面的研究以及工程设计等工作,公开发表论文100余篇。

E-mail: wangtao3214@126.com

收稿日期: 2019-01-22