

堆肥工程 与 堆肥工厂

湖北省机电研究院 蔡建成等 编译

机械工业出版社

堆肥工程与堆肥工厂

湖北省机电研究院 蔡建成等 编译



机械工业出版社

本书运用物理、化学、生物学、热力学和动力学原理介绍了好氧动态发酵堆肥化技术。说明堆肥化的成败受到耗氧率、碳氮比、温度、湿度、pH值、挥发固体含量、堆料密度、孔隙率和自由空域等因素的影响。详细阐述了如何协调这些关系。指出：有机垃圾可以借助微生物的活动，实现分解、转变成有机肥料，从而实现垃圾的无害化和资源化。本书根据垃圾处理过程，对预处理、发酵后期处理等设备一一作了全面而细致的介绍，使读者对堆肥化工厂的建立有清晰而全面的了解。

本书可供环保、环卫、化工、机械、建筑、煤矿等专业技术人员使用，也可供大专院校师生参考。

堆肥工程与堆肥工厂

湖北省机电研究院 蔡建成等 编译

责任编辑：常燕宾 责任校对：丁丽丽

封面设计：姚毅 版式设计：吴静霞

责任印制：尹德伦

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/16 · 印张 19 3/4 · 字数 484千字

1990年4月北京第一版·1990年4月北京第一次印刷

印数 001—813 定价：20.35元

ISBN 7-111-02013-8/X·7

编译者的话

湖北省机电研究院开始研究城市垃圾处理成套设备始于1983年,并得到了原国家经济委员会和国家机械工业部环境保护办公室的支持。在这几年里我们从零开始,进行了大量的国内外调研,查阅了国内能够查阅到的一些资料,走访和信訪了上百个城市。我们发现,我国在环境卫生这一领域内,城市垃圾的处理研究还处于十分落后的状态,资料奇缺,技术力量也不足,工艺水平和设备研制远远不能满足城市发展的需要。这种情况势必给现代城市文明建设带来十分不利的影响。

针对国内资料短缺的现状,在对外搞活科研的指导原则下,我们采取请进来走出去的办法,先后与日本、英国、联邦德国、美国、瑞士、法国、奥地利、香港等国家和地区的专家进行了几十次的技术交流和洽谈,得到了大量的资料和信息,开阔了眼界,丰富了知识,了解到了世界垃圾处理方面的最新技术和设备,从而也找到了我们的差距。

我们认为要改变目前的状况首先必须从理论研究着手。其一,要向各级领导和市民宣传城市垃圾无害化处理的重要性,使之家喻户晓,人人皆知,这样可以做到一呼百应,政府的政策和措施容易得到市民的支持和合作。其二,要向从事这一工作的领导、工人和技术人员提供理论指导和技术支持,以便在具体实施一些处理措施和工程项目时,容易合作和推广,能够收到事半功倍的效果。针对第一个目标我们曾于1986年编印了《国内外城市生活垃圾处理资料汇编》一书,此书得到了专家们的高度评价。全书收进了有关垃圾处理的国内外综述、论文调查报告、译文等共126篇,按六大部分归纳,计84万余字,500多幅图表。该书内容丰富,资料新颖,具有明显的实用价值,对推动当前的环卫工作起到了积极作用。

针对第二个目标我们编译了这本《堆肥工程与堆肥工厂》。因为近年来,国内需要建堆肥厂的呼声很高,过去有一段时间,我们每周都要接待几批远道而来的用户,向他们介绍有关堆肥方面的知识及我们于1987年底通过原国家经委和机械工业部鉴定的五台堆肥关键设备。在与这些用户的接触中,我们感到用户很了解有关堆肥工程的全面的知识,如何能以最少的投资,获得最大的环境效益和经济效益。为了方便用户,推动我国的环卫事业,使更多的人尽快地掌握堆肥技术,我们经过几年的努力,多方的协作,《堆肥工程与堆肥工厂》一书终于与广大读者见面了。本书主要参考美国Rager Tim Haug的《堆肥工程原理及实践》(COMPOST ENGINEERING Principles and Practice)一书与国外发达国家堆肥技术文章编译整理而成。全书共分十四章约40多万字,270幅图表,内容广泛,理论与实践相结合,重点阐述了堆肥过程所涉及的各个学科领域的有关概念及数学模型的建立,也论述了堆肥工厂建设中的有关系统,设备和有害物控制诸问题,其中的理论部分可使从事堆肥化系统、环卫事业的工作者从中得到启示。

本书由蔡建成、李国珍、范毅等编译,清华大学李国鼎教授审稿。参加编译工作的还有初叶萍、周祺、彭文胜、陈宏娟、汤海生、赵东平、王元仿、耿建和周娴姝等。

由于编译时间紧,又缺乏经验,故全书从内容到形式一定存在不少缺陷和错误,我们恳切希望读者在阅读过程中进一步审校及提出宝贵的意见,但愿本书能对读者有所裨益。

1986
编译者

目 录

编译者的话

第一章 概论

- 一、堆肥化定义及目的..... 1
- 二、堆肥化涉及的范畴..... 1
- 三、堆肥化底物..... 2
- 四、高水分废物问题..... 2
- 五、堆肥化分析方法及设备介绍..... 2

第二章 堆肥化系统

- 一、概述..... 5
- 二、堆肥化工艺概略..... 5
- 三、堆肥化系统的分类..... 7
- 四、污泥堆肥化系统..... 13
- 五、小结..... 30

第三章 化学热力学原理

- 一、概述..... 31
- 二、热和功与能量守恒..... 32
- 三、热力学第一定律..... 32
- 四、热力学第二定律..... 37
- 五、自由能与平衡..... 38
- 六、反应速率和温度..... 39
- 七、生命和能量..... 40
- 八、反应热的估算..... 40
- 九、小结..... 43

第四章 生物学基础

- 一、概述..... 45
- 二、代谢分类..... 46
- 三、细菌..... 48
- 四、真菌..... 54
- 五、其它原生生物..... 58
- 六、病原生物体..... 58
- 七、微生物生长的动力学..... 68
- 八、小结..... 71

第五章 热灭活动力学

- 一、概述..... 73
- 二、温度——时间关系..... 75
- 三、热灭活动力学模型..... 79
- 四、工作标准..... 85
- 五、微生物灭菌极限..... 86

- 六、最终产物标准..... 92

- 七、小结..... 98

第六章 湿度和挥发性固体的控制

- 一、概述..... 99
- 二、湿度控制..... 100
- 三、挥发性固体的控制..... 107
- 四、小结..... 112

第七章 孔隙度和自由空域的概念

- 一、概述..... 113
- 二、重量关系..... 113
- 三、孔隙度和自由空域..... 115
- 四、使用回流堆肥或调理剂的FAS关系..... 117
- 五、膨胀剂与FAS关系..... 120
- 六、小结..... 130

第八章 通气的必要性及其过程

- 一、概述..... 132
- 二、有机物分解的需氧量..... 132
- 三、去除水分所需空气量..... 136
- 四、通气的作用..... 140
- 五、小结..... 147

第九章 堆肥化热力学

- 一、概述..... 148
- 二、热传递机理..... 148
- 三、堆肥化的热性质..... 150
- 四、物料与能量平衡..... 152
- 五、堆肥化和干化..... 155
- 六、堆肥化与有限干化..... 158
- 七、对设计的意见..... 161
- 八、小结..... 162

第十章 动力学原理

- 一、概述..... 163
- 二、耗氧率..... 163
- 三、微生物——底物系统的分类..... 169
- 四、多相系统——附着生长..... 171
- 五、多相系统——固体底物..... 172
- 六、其它速率制约因素..... 183
- 七、稳定性程度..... 188

八、综述与结论·····	190
九、小结·····	192
第十一章 模拟模型的开发	
一、概述·····	193
二、解决问题的方法·····	193
三、动力学分析·····	197
四、质量平衡·····	201
五、能量平衡·····	210
六、小结·····	217
第十二章 堆肥化设备	
一、概述·····	218
二、供料进料设备及设施·····	218
三、预处理设备·····	226
四、发酵设备·····	242
五、后处理设备·····	253
六、防治二次污染的方法及设备·····	258
七、小结·····	261

第十三章 公害控制

一、概述·····	262
二、尘土的控制·····	262
三、恶臭控制工程·····	263
四、臭气的大气消散·····	277
五、小结·····	290

第十四章 结束语

一、几点说明·····	292
二、展望·····	293
三、综合的系统设计·····	298
四、总结·····	300

附录

一、符号·····	301
二、奥地利公司咨询问题·····	305
三、巴布考克公司垃圾处理咨询问题·····	307

参考文献 ·····	310
-------------------	-----

第一章 概 论

一、堆肥化定义及目的

通常我们可以观察到有机物具有自身升温或发热的趋势,堆肥化便是利用这种现象来达到其经济效果的。通过堆肥化,我们可以把有机物转变为有机肥料,这种有机肥料作为最终产物不仅稳定,而且不危害环境。因此,堆肥是废物的一种无害化的、稳定的形式。尽管堆肥化与垃圾处理有时是相同的,但由于出发点的不同,就会引起对被加工的物料,控制目的以及最后渣滓处理过程等看法的不一致,从而引起经济与管理的着眼点不同。

通常要求垃圾处理的工艺设计和控制目标应达到最大分解率。高分解率,能实现以简易设计和常规的操作方法,达到经济有效的垃圾处理,并有效的控制臭气。由于堆肥化能起到分解腐烂(引起恶臭的)物质,减小垃圾体积和重量及其含水量,使处理后的堆肥达到稳定状态,并致死病原体等效果,所以堆肥化也可以看作是一种垃圾处理技术,只是垃圾经堆肥化后比原先更易贮存、运输与消纳,并可以将不能用于填埋的垃圾,经堆肥化后转变为可填埋的程度。

堆肥化可分为需氧堆肥化和厌氧堆肥化两种,需氧堆肥化是指有氧的气氛下进行有机基质的分解,生物代谢的主要产物是 CO_2 、水和热。厌氧堆肥化是有机物在缺氧的情况下分解,生物代谢的最终产物是甲烷、 CO_2 和无数的中间产物,如低分子量的有机酸等。厌氧堆肥与需氧堆肥相比,每单位重量有机物分解释放的能量明显地要少些,厌氧堆肥由于许多中间代谢物的性质缘故,会产生更多的恶臭。本书主要论述需氧堆肥化,它能更有效地防止二次污染。

有了以上的叙述,我们也就不难认识到堆肥化的用途了,首先通过堆肥化,我们能将城市垃圾中的腐化有机物进行生物转化,使之稳定下来,并消灭对人们有害的病原微生物。第二,我们可以利用堆肥化消灭植物虫害,草籽、昆虫和昆虫卵,并大大降低废弃物的恶臭散化,保护自然环境和人体健康。第三,我们可以通过堆肥化回收大量有使用价值的产物用于填海造地、土壤改良、农业有机肥料、提供土壤腐殖质等。但不管怎么说,堆肥化的目的并不是生产某种特殊的产品,而是以经济有效的手段来达到垃圾的无害化、资源化,从而实现社会效益和环境效益。

二、堆肥化涉及的范畴

微生物在生物工程上的最普遍的应用是处理和转换水溶液中的底物。虽说堆肥化是一种古老的技术,但科学地研究这个工艺还只是近几十年的事,本书的目的就是要提供更多的途径去分析和设计堆肥化系统的工程任务,尽可能地借助物理、化学、生物、热力学的原理,使读者对整个堆肥化过程有全面和概括的了解。

三、堆肥化底物

适合堆肥化的底物相当广泛，其中城市垃圾及农业废弃物占有主要部分，在处理这些废物所遇到的问题不仅取决于数量，而且也取决于底物的品质特性。就以城市垃圾而言，最大的问题是不均匀性，由于成分复杂，给堆肥化带来了困难。其中含有食品、纸、树叶、玻璃、塑料、金属、清扫垃圾、庭院垃圾及灰尘等。这就需要将它们分选开来，并把有机含量高的部分作为堆肥化原料，而其余部分可作废物利用或其它用途。也有另一种方法，其处理方式是将全部固体垃圾先通过堆肥化，随后进行分离的。

有机物通过堆肥化，可将湿物转化成有价值肥料，至少将垃圾处理后可达到卫生标准，用于填埋。并且堆肥化是通过有机物的分解，释放出热量，消灭各种病原微生物，达到无害化的目标。本书的注意力将集中在高含水量的有机物上，在此所提供的原理将适用于所有物料的堆肥化。

四、高水分废物问题

一般来讲，堆肥化适用于非流动体和干性物质。城市垃圾、农业废料、干燥动物粪便以及森林废料都是普通的底物，是适用于做堆肥的物料。脱水污泥堆肥不同于干性物料，主要在于脱水物可能仍有70~80%的水分。

原则上讲，有机物水分含量越高，保证耗氧发酵所需的空域体积就越大。脱水污泥不是疏松物料，它是缺少多孔性的材料如禾秆和垃圾等，因此就容易结块，使得自由空域减少，不利通气供氧，使发酵处于厌氧状态，产生恶臭。为此，针对含水量高，缺少孔隙，易结块，并且在堆肥化过程中需要干化污泥的情况，我们可以加入回流堆肥和适当地掺入调理剂或膨胀剂来调节水分，增大自由空域，改善供氧条件；也可通过不断地翻堆来增大物料与空气接触的面积与机会，从而使堆肥化顺利进行。

五、堆肥化分析方法及设备介绍

由于堆肥化过程是个相当复杂的过程，它受到耗氧率、碳氮比、温度、湿度、pH值、挥发固体含量、堆料的密度、孔隙率和自由空域等诸因素的影响，所涉及的学科相当广泛。为此，本书以物理、化学、微生物、热力学和动力学等为基础，对堆肥化过程加以综合地评述，从社会要求到生物学要求，从堆肥化目标，到堆肥化的排热、湿度、产热和通气供氧、水分含量等诸方面，及它们之间的关系作了详细的分析。

前面已经提及，物料的固体含量是堆肥化的成败关键，读者可以从第二章中了解到，在堆肥化期间，如何调节物料的固体含量使污泥疏松，使其内部形成更多的孔隙。根据发酵设备的类型，物料的流动机械方式，发酵层的条件以及供氧方式对堆肥化系统进行分类，使读者能更易理解。

热力学原理的运用，是分析堆肥化系统的最为基础的方法，它是协调物理、化学和生物学方面的“工具”。有机物料的自热现象主要是由微生物作用引起的，而且这种现象在有机物料中不断变化，到处可见。对堆肥化而言，有机物料从自热开始便有大量的微生物繁殖，

但当温度超过其适应范围时，微生物繁殖便受到了限制。大多数的真菌当温度超过 50°C 时便不能生存（也有少量的可以适应到 $60\sim 62^{\circ}\text{C}$ ），当堆肥达到高温时，真菌处于灭活状态。中温菌和放线菌随着嗜热菌的增殖而逐渐衰减。此外对污水污泥来讲，堆肥化一开始便伴有大量的嗜热菌出现，然而在整个堆肥化过程中，堆肥还是能达到无害化的。在高温下，杆菌种类的嗜热菌构成了易培养的细菌，通过生物的自热作用，温度可达到或接近一个最大值。堆肥化的自发产生，必须满足下列条件：物料中的底物和含水量要有利于代谢热的产生；要提供足够的物料来贮热，弥补向周围环境散失的热；为了气体交换，物料要有足够的自由空域，通过需氧呼吸，为产热提供氧气。进一步讲，堆肥化物料本身就是一个滋生地、营养源、热源、垃圾的代谢发酵池，是气体和热量交换的底物，与外界不发生交换的绝缘体。由于微生物菌的作用，逐渐改变了垃圾的性质并使之趋于稳态，因此反应热最终要衰耗，物料也会冷却下来。读者可以从第三章、第四章、第五章、第六章、第七章和第八章中了解到以上的内容，其中分析的中心内容主要指物理方面，如湿度和挥发固体的控制、密度、孔隙率和自由空域以及耗氧发酵所需条件之间的关系等。各种病原微生物、细菌和微生物为什么能在堆肥化过程中消亡？要达到无害化的目的，各种因素应如何进行调节？最终堆肥产物中的各种微生物及病原体达到什么标准等问题，均在第五章中有所解答。本书第五章中运用了热灭活动力学的知识，一一加以剖析，并就理论与实际方面进行阐述。

堆肥化的质量主要取决于有机物的成分和发酵状况，而发酵的成功与否，主要受到湿度、温度、耗氧率及通气情况的影响。第六章就如何保持适当的湿度平衡问题，介绍了几种方法用以解决高含水量问题。如何维持堆肥化系统的需氧条件，这就涉及到第七章中的孔隙度和自由空域的概念。为了加速堆肥化的进程，可以通过翻堆和通气方法来推进堆肥化的进程，第八章告诉我们堆肥通过气体交换，可以得到足够的氧气，排除 CO_2 ，转移热量，蒸发水分。

第九章运用了热力学的知识，对污泥堆肥化过程进行理论探讨和实验观察，揭示了两条重要的结论：一是当水与可降解物的比例 w 小于10时，堆肥化过程中就可以有足够能量供污泥堆肥化并使之彻底干化；另一是当 w 大于10时，堆肥化过程中能量只够污泥堆肥化和部分干化。从而可以清楚地认识到，要使堆肥化成功，必须设法提高混合物中的固体含量，实践证明，在堆肥化前，对进料实行脱水、干化或加入适宜的添加物质，来提高混合物固体含量，降低 w ，是行之有效的。

为了使读者方便地理解以后几章的内容，本书的第十章介绍了动力学原理，在以后的第十一章中，通过对堆肥化系统作数学分析以及已知的动力学有关的质量和能量平衡，使读者了解到堆肥化系统的设计与操作的基本要求。

第十二章的设备部分是按照工艺流程叙述的。介绍堆肥化过程中所应用的预处理设备、发酵设备及后期处理设备。着重描述预处理设备和发酵设备的各种结构形式。预处理设备以破碎机和筛分设备为主，分别就各种机型的特点进行了比较和说明，堆肥化的质量与发酵情况有关，而提供优良而实用的发酵设备，无疑对堆肥化的效率提高和质量的保证起着重要的作用，评述中的多层立式塔发酵、卧式滚筒发酵、槽式发酵及组合型发酵等，都是目前世界上应用得比较多的，本章就各发酵系统所对应的设备，作了通气、温度控制、翻堆、水分控制以及熟化五个工艺阶段的比较，对于后期处理方法，读者也可以从推荐的后处理设备中得到启示。

为了使设计的堆肥化系统，不致引起周围环境的污染，在设计堆肥化装置的同时，必须考

考虑到有害物的控制，建立有效的消除污染的系统是十分重要的，第十三章不仅从处理系统上对污泥提出了适当的设计要求和运行方案，而且从全社会角度制定了各堆肥厂的各种控制和防范设施，如臭味的控制；尘土的消除；污水处理等，使读者能了解到堆肥化系统的基本组成，设备及场地选择，以及如何协调废物处理与周围环境的关系，使建立的堆肥厂既有经济效益，又有社会、环境和生态效益。

最后，要说明的是，任何一种工艺方法的前途，在很大程度上取决于它与其竞争的工艺方法和其它处理方式相比的有利与不利因素。第十四章，作者表述了对堆肥化系统作的客观评价，使用户能根据已具备的条件和实际情况，建造合适的堆肥厂，不致造成不该发生的浪费甚至引起二次污染。

为了方便读者，本书在书末还列了附录，介绍了大量的专业术语及所用单位，帮助读者尽快地掌握堆肥化技术。

第二章 堆肥化系统

一、概 述

本章主要是对实用的堆肥化系统作简要的叙述，重点将放在构成所有堆肥化系统及其运行的基本概念方面。由于关心污泥堆肥化的人们越来越多，一些新式的堆肥化系统不断地快速地涌现出来。

任何简要描述实用系统的资料都会在若干年之后变得陈旧，但是不管堆肥化系统如何花样翻新，其基本原理是会保持不变的。

不过，在深入讨论基本概念之前，必须对现存的一些堆肥化系统有某种程度的了解，因此本章将叙述堆肥化系统的一般性质，描述其主要的相同和差异之点，介绍以后数章中所采用的术语，然后转入后续章节中所提到的堆肥化的更主要方面。

二、堆肥化工艺概略

图2-1示出堆肥化过程示意图。湿料底物由于含水量高，很难单独地进行堆肥化，脱水后的污泥饼，除了在小规模试验中，通过不断地搅拌混合尚可成功外，在大规模堆肥化上对污泥饼实行堆肥化处理还有待解决。这是由于污泥饼的高含水量，使其孔隙空间为水所饱和，致使氧在堆肥化物料中的输送受阻，要防止这种现象，需配合使用高水平的连续搅动，从而不断形成新的表面以供氧气输入。有三种方法可用来克服氧的输送问题：①在堆肥化开始之前，使堆肥回流并掺进脱水污泥；②污泥中添加一种有机调理剂；③添加一种膨胀剂如木屑以及从堆肥产物中筛出膨胀剂颗粒。

对“调理剂”与“膨胀剂”可作如下说明：调理剂是指加进堆肥化物料中的有机物，借以减少单位体积的重量，增加与空气的接触面积，以利于需氧发酵，调理剂也可增加堆肥化物料中的有机物数量。用于脱水污泥发酵中的调理剂有木屑、禾秆、泥煤、稻壳、粪便、树叶、垃圾等有机废料，理想的调理剂是干燥的、比较轻和容易分解，当调理剂不容易弄到时，往往也将发酵好了的堆肥加到脱水污泥或堆肥化物中进行回流，以改善发酵条件。膨胀剂是指用有机物或无机物制成的三维固体颗粒，当它被加到湿堆肥化物料中去时，能有足够的尺寸保证物料与空气的充分接触，并能够依靠粒子之间的接触起到支撑作用。如果膨胀剂是有机物，那么堆肥化物料中有机物的数量增加，普遍使用的膨胀剂是木屑、团粒垃圾、破碎成颗粒状的轮胎、花生壳、树叶、岩石以及其他物质。

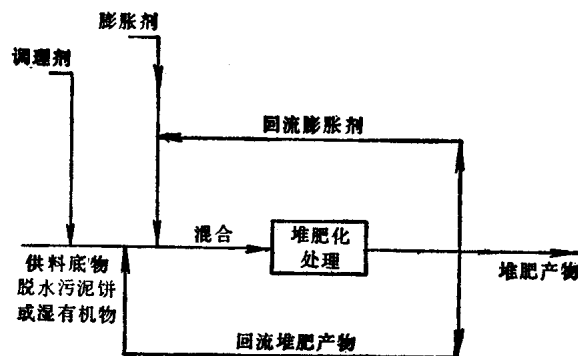


图2-1 堆肥化过程示意图

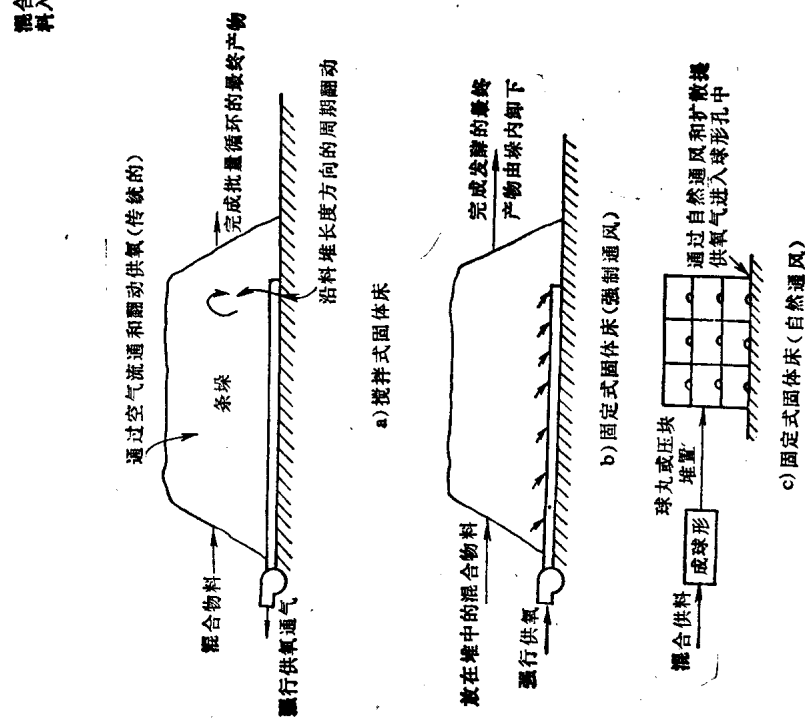


图2-2 无发酵装置堆肥化系统

- a) 搅拌式固体床(堆垛系统)
 1. 常规方法: 物料通过周期性翻堆进行搅拌, 不需要强行通气, 批量供应, 物料在作活塞式流动的同时, 在搅拌作用下散开。
 2. 强行通气: 按常规方式堆料, 但考虑了强行通气。
- b) 固定式固体床强制通风。不用翻堆或搅拌的固定床, 批量供料, 在堆中不必搅动和混合
- c) 固定式固体床自然通风

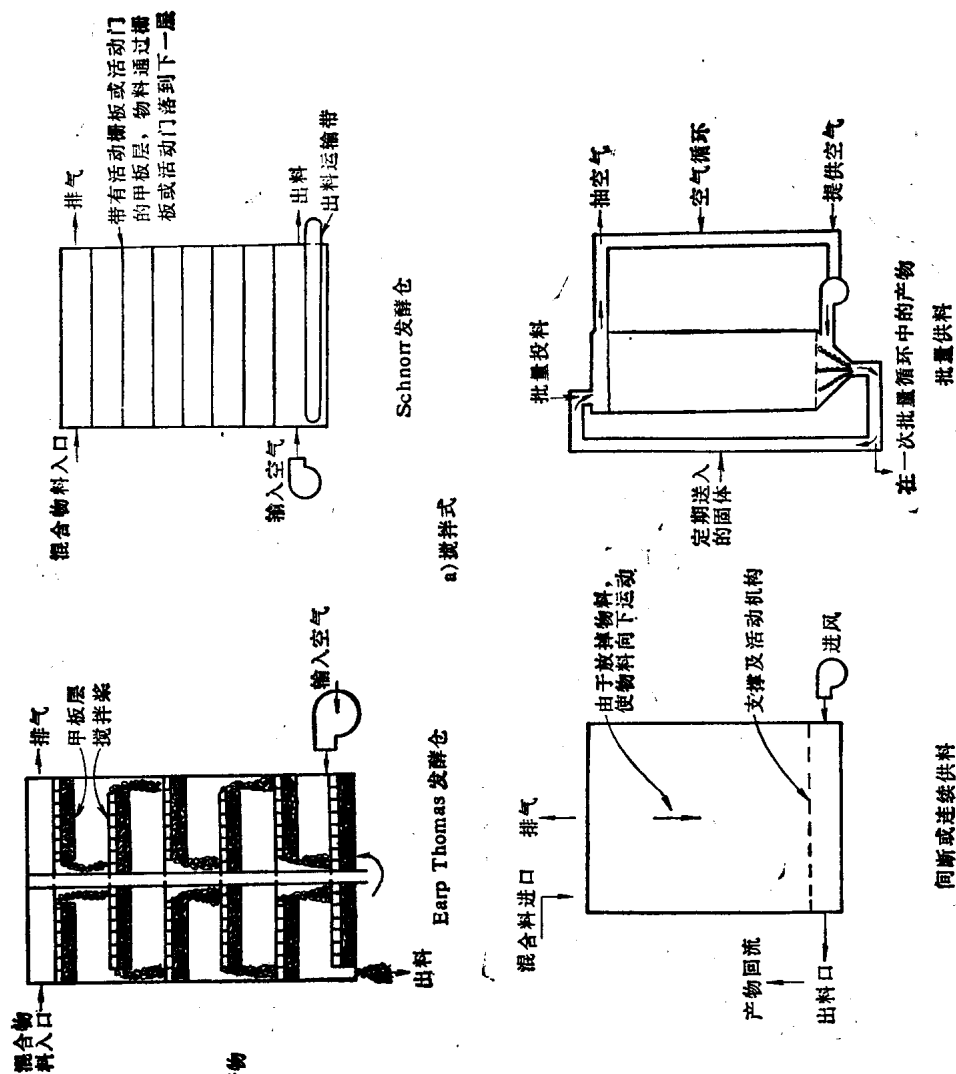


图2-3 立式发酵塔

图2-1方框“堆肥化处理”中包括了所有形式的堆肥化系统，虽然这些系统的细节会有差异，但决定堆肥化工艺的基本原理是不变的，而且不管各式系统用的是回流产物，还是调理剂或膨胀剂，其目的都是防止由于供料底物水分过大带来的困难。

三、堆肥化系统的分类

堆肥化系统分类目前主要依据于堆肥化物料的发酵方式、流动过程、发酵状况以及提供空气的方法等，具体就是看物料在什么样的发酵设备中发酵，机械化程度如何，供氧状况如何。从生物发酵的角度来分，可分为需氧堆肥化与厌氧堆肥化，从发酵设备的形式来分，可分为，封闭式与敞开式。图2-2至图2-4是堆肥化系统的一些简单示意图。表2-1和表2-2对代表性的堆肥化系统及装置作了简要说明。

(一) 无发酵装置系统

无发酵装置系统见图2-2，此工艺可分为搅拌式和固定式固体床两种。搅拌式固体床是将堆肥化物料堆放在一种带有固体翻动设施的场地上，在堆制循环中采用转动、翻堆或其它方式对物料进行定期地搅拌或破碎。搅拌并非混合的同义词，如果说一个发酵系统的混合功能良好，是指通过搅拌可使物料铺撒到场地内的所有地方。在一个充分混合的系统里，物料混合的程度各处是相同的，因此，从系统中的物料堆里随意取样，其堆肥特性是各处相同的。要

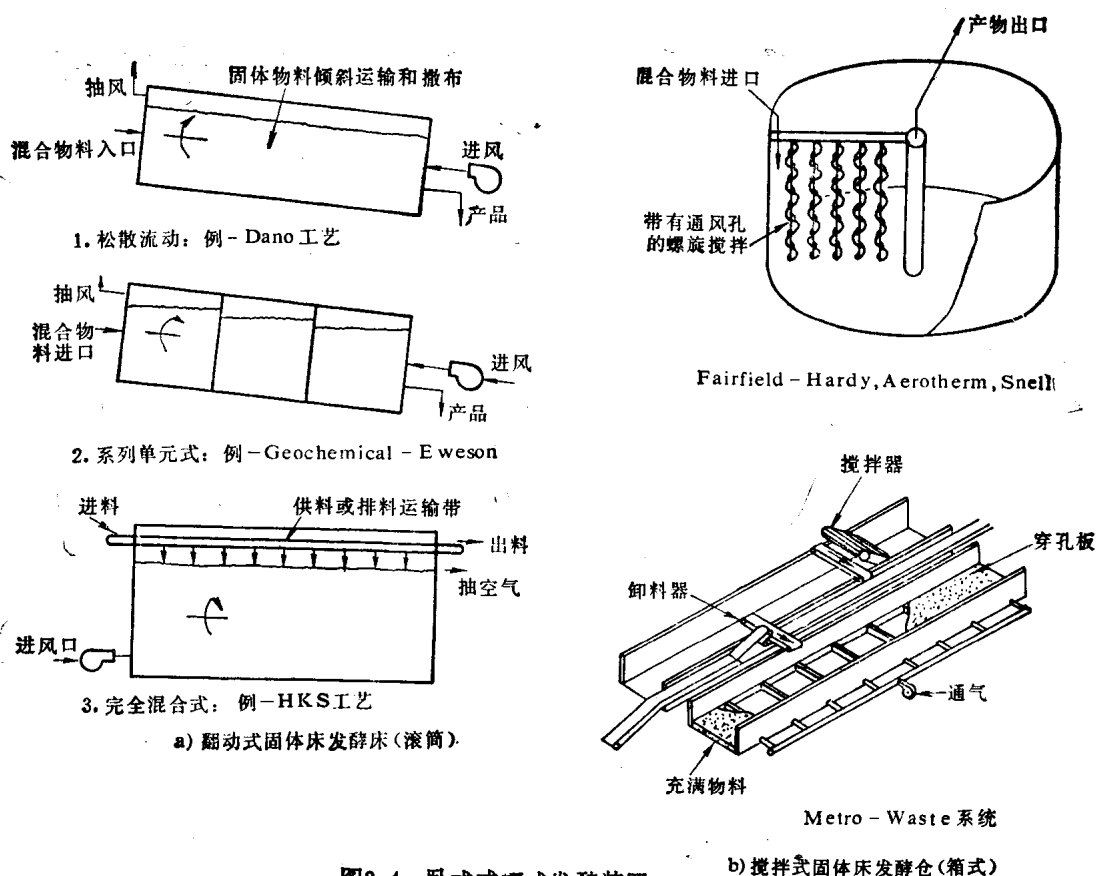


图2-4 卧式或槽式发酵装置

使系统具有良好的混合功能,就必须以某种方式搅拌,然而,一种搅拌方式的混合效果可能很好,也可能不尽理想,事实上有些搅拌方式的混合功能是很有限的。

表2-1 用于混合固体废料作主要供料成分的堆肥化方法

分 类	工 艺 名	基 本 情 况
无发酵装置 搅拌式固体床 见图2-2、a	班 加 罗 (印度)	1925年由印度的爱伯特·霍华德先生提出,在地下沟深0.6~0.9m处,物料由垃圾、人粪尿、泥土、禾秆等分层交替堆放,不加破碎,尽可能地用人工多翻动,停留期间为120~180天,在印度应用很广
	传统式或强制 通风条垛	具有草堆断面的露天条垛,底层是垃圾,通过翻堆换气,停留期取决于翻堆次数和其它因素,采用这种工艺的有阿拉巴马州的莫比耳市(270t/d); 科罗拉多州的波尔德市(90t/d); 以及田纳西州的约翰逊市,近来在以色列和墨西哥也流行使用
	Van Maanen	原垃圾除露天堆放120~180天以调节水分外,不经任何预处理,用起重抓斗车翻堆,因臭气、苍蝇和鼠类等问题,必须在远处遥控,1931年首先在荷兰开始使用
	其它	还有许多工艺应用在条垛系统中,常以设备制造商的名字来命名
固定式固体床 见图2-2、b、c	Brikollari (caspari) (Briquetting)	将磨碎物料压成块状并堆放约30~40天。用自然扩散及气流穿过风管通气。堆肥化开始后,经熟化,然后将块料破碎,加污泥混合,含水量约53%。在德国的Schweinfurt和瑞士的Biel有此形式装置。美国目前尚未装设
立流式发酵装置 移动式搅拌床	Earp-Thomas	可能是最悠久的堆肥化装置。呈筒仓型,共八仓,垂直叠积,中心轴带动一个旋转犁,用来搅拌物料,并使其一层层地往下流动,空气从筒仓的顶部抽出。停留期2~3天。然后进行条垛堆放处理。在南朝鲜的汉城,意大利的维罗那和瑞士的巴塞尔有装设报道。美国目前尚未装设
	Frazer-Eweson	将破碎的垃圾放进垂直式发酵仓中,发酵仓由4~5层有孔甲板组成,并有专门的旋臂使堆肥化物料通过甲板上的孔眼。空气被强制送入仓室中。停留期4~5天。这种装置需防止孔被堵塞。从1954年到1962年,美国麻萨诸塞州的斯普林菲尔德曾建成一座18t/d的处理装置
	Jersey (John Thompson)	六层立式塔结构,每层设有拨动垃圾向下层流动的装置,发酵作用一层一层向下进行。停留期为6天。二次发酵为静态,需6~8周。在泰国曼谷建有处理量为300t/d的工厂

(续)

分 类	工 艺 名	基 本 情 况
	Naturizer (International)	一种2.74m宽的钢带输送机把物料分段铺开,每段之间彼此隔绝形成独立的发酵室,空气由底部送入发酵室。停留期为6~8天。美国俄克拉马州的洛曼(Norman)加利福尼亚州的旧金山、佛罗里达州的圣彼得斯堡(St. Petersburg)都建有这种装置,后者由于没有臭气控制设备而关闭
	Riker	一种四层带有蛤壳状抓泥器的处理装置。堆肥化物料一层层地往下跌落起到搅拌作用。采用强制通风。停留期为20~28天。处理破碎后的混合垃圾、玉米棒和污泥。据报道,问题在于如何保持混合物好氧发酵。1955~1962年在密西根州的威廉斯顿曾有一座4t/d的装置在运行。据悉,目前无运行设备
	T. A. Crane	由三块水平放置的平板分成两个发酵室,每室下面安有水平螺旋输送机,把物料从一间送到另一间,空气由底部输入。三天堆肥化处理,七天熟化。日本神户建有一座日处理量为18t垃圾污泥的中间装置
	Varro	八层发酵塔结构。破碎后的垃圾进入塔内被搅拌犁搅拌并使物料一层层向下跌落。通过空气循环以控制二氧化碳的产生量。干化的堆肥可作土壤改良剂或隔音墙等基本材料。发酵时间为40h。1971年在纽约的布鲁克林区建起一座约55t/d的系统
移动式填充床	Triga	说明见表2-2。在1978年法国建成的两座工厂一直在运行,主要用来处理城市固体垃圾及污泥
卧式或倾斜式 发酵滚筒, 翻动式固体床	Dano	卧式生物发酵滚筒。在水平方向上呈倾斜放置,直径为2.74~3.66m,长45.72m。筒内物料一般不装满,转速为0.1~1r/min。经1~5天发酵后排出,条垛放置熟化。物料不需破碎。筒内强制供气。1972年为最流行的处理工艺之一,世界上大约有160家这样的工厂。在意大利的罗马,处理量为450t/d,英国的累斯特,美国加州的萨克拉曼多(Sacramento)和亚利桑那州的费利克斯(Phoenix)都建有这样的工厂
	Fermascreen	六角形滚筒,三边是筛网。废料破碎后投入,开始时,筛子是封闭的,在滚筒旋转且筛子开着时发生好氧发酵。停留期为四天
	Geochemical- Eweson	筒仓混合式,未经破碎的垃圾放入滚筒内,滚筒直径为3.35m,长为33.52m纵向倾斜,分成三个仓室。垃圾传到下一仓室需1~2天 整个发酵周期为3~6天。物料经尾端筛分后排出。1972年在爱阿华州的第蒙(Des Moines)德克萨斯州的比戈杉代(Big Sandy)建有35t/d的处理厂,后者每天处理27t垃圾和9t湿污泥的混合物

(续)

分 类	工 艺 名	基 本 情 况
搅拌式固体床	Fairfield Hardy	圆形槽中立柱上安有两根垂直的旋转臂, 搅拌破碎的物料, 通过槽底和旋转臂上的孔强制通风发酵。连续流料型, 发酵期为五天, 1951年在宾夕法尼亚州的阿尔图拉 (Altoona) 建成一座日处理量为25t的工厂, 一直运转至今。1969年, 在波多黎各岛上的圣胡安城又建起一座处理量为135t/d的工厂。1978年在加拿大的多伦多, 安大略等地也建成了这类处理厂, 日处理量为45t。这些厂至今仍在工作
	Snell	长方形发酵槽, 深约2.44m。底板多孔, 装有空气导管, 进行强制通风。倾斜6°, 沿着槽的长度方向安装有带旋转搅拌器的活动桥, 用它搅拌和移动物料。停留期为5~8天。在德克萨斯州的休斯敦, 1967年建成一座275t/d的处理厂, 据说运行很成功, 但由于地方性原因被封闭。日本许多城市也建立了类似的堆肥化处理厂
	Metro-Wasfe	长方形槽, 约6.09m宽, 3.05m深, 60.96~121.92m长。垃圾破碎。发酵期约7天, 墙上安装导轨, 搅拌器在导轨上运动, 提供周期性的翻堆, 这是一种较成功的发酵形式。1966~1970年, 在德克萨斯的休斯敦, 建起一座处理量为275t/d的垃圾处理厂。其它还有佛罗里达州的拉戈 (Largo) (45t/d) 和杰因斯威尔 (Gainesville) (135t/d)。1972年在俄亥俄州也建立起一座处理量360t/d的工厂, 用来处理牛粪
	Tollemache	类似于 Metro-Waste 工艺系统。据报道, 1971年在西班牙和罗德西亚也建立起了这类工厂

表2-2 为适应湿物料而制定的堆肥化工艺

分 类	工 艺 名	基 本 概 述
无发酵装置 搅拌式固体床	传统式或强制 通气条垛发酵	断面一般为三角形的露天式条垛, 需要使用回流堆肥产品和其它调理剂来调节含水率。在洛杉矶的各卫生区均使用这种传统工艺(1972年至今)
固定式固体床	通气式固定垛 (Beltsville或 ARS工艺)	由脱水污泥饼和膨胀剂的混合物构成露天式料堆, 通过强行充气供氧。这一工艺方法在美国东海岸一些城市垃圾处理厂里使用较多
	压丸工艺	脱水污泥中掺入回流堆肥以调整物料的湿度。将这种混合物挤压成直径约1cm的球丸, 然后, 将球丸堆集成垛。氧气通过自然通风从球丸间的缝隙中渗入料堆内部。据传说此系统最早由德国开发

(续)

分 类	工 艺 名	基 本 概 述
竖流式发酵装置 移动式搅拌床	Thermax	类似于Earp-Thomas系统。1976年曾在美国加州奥兰治县(Grange)卫生区进行过小规模运行试验,将脱水污泥掺入回流堆肥和其它添加物一同进行发酵处理
	Schnorr "Biocell" 系统	发酵装置为一立式塔,塔分10层,每层设有一液压控制阀门,用来控制物料向下一层排放。氧气靠强行通气输入。进料由脱水污泥,回流堆肥和木屑组成,按体积2:2:1确定比例。每层物料约1m深,停留期约为8天,整个发酵周期为30天。到1978年,欧洲已建有三座这种设施
移动式填充床	Knser (后演变为 大家所熟悉的 BA V)	发酵装置为一圆柱形塔,塔内不分层次,也没有其它的机械设备。进料通常由脱水污泥、回流堆肥和一些木屑、树皮之类的调理剂组成。物料由顶部进入塔内,并向下流动。出料则从塔底用机械抓斗进行。通过强行通风从塔的底部向内供氧。物料在塔内的停留期为7~12天。目前在德国已建有容积为375m ³ 的这种装置超过25座
	Triga	这种发酵装置是一个被称作"Hygiensator"的混凝土塔,塔内分成四个垂直单元。根据物料的性质发酵期一般为4~10天。塔顶装有抽风装置。螺旋出料器在塔底排料和搅拌物料。在堆肥化期间,物料需进行3~5次的再循环,以避免底部压实。堆肥化物通常由污泥以及诸如混合垃圾、木屑、树皮之类的调理剂组成。经这种发酵后的堆肥还需进行2~4个月的熟化。在全部混合物料中,添加物一般约占重量的1/3
	Euramca (Roedige, Fermen- technik)	发酵仓为一塔形装置,底部装有出料和搅拌机构。适用于脱水污泥和回流堆肥的混合物料。物料分批投入,一旦塔内装满,物料便频繁地上下翻滚搅拌混合,以保证温度的均衡一致。物料在塔内停留期为6天。完成发酵后再将物料制成球丸状,堆垛风干或在密闭式风干机内进行干化处理。在进行二次堆肥循环以前,再将球丸破碎。美国加利福尼亚州在进行LA/OMA项目时亦对这一装置作过小规模试验
	ABV	类似Knee和BAV系统。到1979年止,瑞典至少已建成两座这类装置
平流或斜流式 发酵装置 翻动式固体床	HKS	反应器是一种可进行充分混合的旋转式滚筒装置。堆肥化物由脱水污泥和回流堆肥产品组成。到1978年止,只有欧洲Aachen地方做过这种装置的小规模试验
	Dano	参见表2-1说明。多数设备主要只用来处理城市固体废物。今后将有可能把这种装置主要用于处理城市下水道污泥,但现在还没有这方面的报道