

垃圾填埋场渗滤液好氧回灌技术的试验研究

李轶伦¹, 夏立江¹, 杜文利², 刘云慧¹, 邝朔林², 薛明晶³

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; 2. 北京六里屯垃圾卫生填埋场, 北京 100094; 3. 中国农业大学继续教育学院, 北京 100094)

摘要: 通过在北京海淀区六里屯卫生填埋场内设垃圾填埋模拟柱, 对新鲜垃圾产生的渗滤液进行了好氧和厌氧两种条件下的自身循环回灌, 对两种条件下渗滤液的产生量、常规水质指标进行了测定和分析, 初步探讨了好氧回灌处理技术对城市垃圾渗滤液的影响。结果表明, 好氧条件下, 垃圾填埋柱中渗滤液产生量较少, 填埋体系易形成中性偏碱的环境, 温度较高, 添加污泥与蚯蚓的作用有利于 COD_{Cr} 和氨氮的降解, 比厌氧条件提早进入稳定阶段, 进而加快了填埋垃圾的稳定化进程。

关键词: 渗滤液; 回灌; 好氧

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2005)03-0600-05

Investigation of Aerobic Recirculation on Landfill Leachate from Municipal Solid Wastes (MSW)

LI Yi-lun¹, XIA Li-jiang¹, DU Wen-li², LIU Yun-hui¹, KUANG Shuo-lin², XUE Ming-jing³

(1. Department of Environmental Science and Engineering, China Agriculture University, Beijing 100094, China; 2. Beijing Liulitun Waste Sanitary Landfill Site, Beijing 100094, China; 3. College of Continual Education, China Agriculture University, Beijing 100094, China)

Abstract: As leachate in waste landfill may cause secondary pollution, which is one of the key problems for leachate derived from the waste landfill, therefore, the treatment of leachate is an essential part in waste landfill. To evaluate effects of aerobic condition on leachate, we established five columns filled with garbage in LiuLiTun landfill, Haidian District, Beijing. Column 1 was under the condition of anaerobic, column 2 to column 5 were all in aerobic. Approximately one hundred earthworms were added in column 4, and 5 Liters of original leachate were added in column 5. All the columns were re-circulated three times every week, and quantity and normal water index of leachates generated in all the treatments were tested. Chemical parameters that are used in the test included COD_{Cr} and ammonia-nitrogen and pH and so on. The results showed that comparison with anaerobic condition, in the aerobic condition, 1.67 percent less leachate generated; 2, there was a trend to form neutral environment; 3, the maximum temperature that system can reach were higher, and less time was needed to this. It may be concluded aerobic condition promote the degradation of leachate greatly. Furthermore, there were beneficial aspects to add earthworm and sludge in column, including declining of the COD_{Cr} and ammonia-nitrogen, reaching stable stage earlier and improving the stability course of landfill.

Keywords: landfill leachate; recirculation; aerobic condition

填埋法在发达国家和发展中国家目前都是垃圾处理的主要方式。近年来,我国垃圾填埋也进入高峰期,北京市目前已经相继建成了阿苏卫、北神树、安定、六里屯四座大型和通州区、平谷县两座中小型垃

圾卫生填埋场。随着现代科学技术的发展,垃圾填埋技术在工程设计、污染防治、垃圾场维护等方面取得了很大的进步,但垃圾渗滤液仍然因为其乌黑如墨、臭味难闻、复杂的成分、高浓度的有机废水而成为困扰垃圾填埋场的难题之一。

垃圾填埋场通常采用物化、生物及土地等方法来处理渗滤液^[1]。回灌法作为土地处理方法中的一种近年来得到较快的发展^[2],它既能净化渗滤液水质又可以减少排放水量,具有投资小、操作方便、运行费用

收稿日期:2004-08-23

作者简介:李轶伦(1975—),男,辽宁兴城市人,满族,现中国农业大学资源与环境学院大读硕士研究生,主要研究方向环境污染化学。E-mail:cauallen@eyou.com,电话:(010)80940230

联系人:夏立江,女,中国农业大学资源与环境学院教授。

低、处理效果好等优点,但是在回灌处理过程中对氨氮(NH₃-N)去除能力较低,要经过二次处理才能达标排放^[3]。目前国内渗滤液回灌技术进行了较多的试验研究,但都是在厌氧条件下或者是在准好氧条件下对渗滤液的回灌进行的研究^[4],而处理的效果均不是很理想。本文利用模拟试验装置对回灌法进行深入研究,对传统的渗滤液回灌处理工艺进行了改进,通过连续曝气的方式,比较回灌前后渗滤液水质变化的影响,尤其是对氨氮的处理效果加以分析,以期对渗滤液回灌的设计提供参考。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

填埋柱是用水泥柱制作而成。渗滤液水样以表面灌溉的方式回灌。渗滤液流经粘土层、垃圾层、碎石层,由垃圾柱底部流出收集,填埋柱顶端与鼓风机气机相连。

1.2 试验方案

试验设填埋柱共 5 根,其中柱 1 为厌氧,柱 2、柱 3、柱 4 和柱 5 每天连续充氧,渗滤液回灌频率为每周 2~3 次,回灌之前,在柱 4 和柱 5 中分别添加了蚯蚓和污泥(5 L)来做对照。

1.3 试验材料与仪器

试验所用垃圾样品直接取自北京市六里屯卫生填埋场,采用新进场的新鲜垃圾。为了使试验进展更倾向于垃圾填埋场实际情况,垃圾在回灌柱之前只进行初级处理(去除石块、塑料等不可降解物质)。用称重法计算得到各类组分的质量比见表 1。试验所用仪器如表 2 所示。

表 1 垃圾组分一览表

Table 1 Classification of composition for the municipal solid wastes					
垃圾组分	土类	厨余	石块	塑料	纸类
质量/kg	25.0	10.3	3.9	3.6	3.0
百分比/%	50.0	20.6	7.8	7.2	6.0
垃圾组分	杂草	木头	布类	金属	玻璃
质量/kg	0.9	0.8	0.7	0.5	1.3
百分比/%	1.8	1.6	1.4	1.0	2.6

表 2 试验仪器

Table 2 Diagram of apparatus used in the resent experiment	
分析项目	试验仪器
温 度	温度传感器
pH	数显 pH 计 (型号: pH S—25)
COD _{Cr}	COD 反应器 (型号: 45600), 分光光度计 (型号: DR/2010)
氨氮	凯氏定氮仪 (型号: KDY—9820)
电导率	电导率仪 (型号: DDSJ—308)

2 结果与讨论

2.1 渗滤液体积

如图 1 所示,填入垃圾 12 d 后进行第一次回灌,柱 1 至柱 5 产生渗滤液的体积分别为 3 000、2 730、920、1 300、1 110 mL。渗滤液产生量差别较大,柱 1 和柱 2 渗滤液回灌量较大,约是柱 3、柱 4 和柱 5 的 3 倍,主要原因是柱 1 中未进行曝气,在 12 d 内先发生好氧生物降解作用,生成 CO₂ 和水,而大约在第 5 d 以后^[4],随着氧气的消耗至尽,柱内主要发生兼性和厌氧的生物降解作用,水解酸化生成有机酸(H⁺)而消耗一定量的水分。厌氧情况下产生的渗滤液只是由于垃圾内含水经压实产生,不会参与到生物降解过程,随着垃圾的沉降,水逐渐溶出,导致渗滤液也随着增加;柱 2 中充入空气较少,多发生兼性或厌氧反应,引起内部 pH、Eh 等最低,COD_{Cr} 和氨氮的浓度最高 (见以下分析);而柱 3、柱 4 和柱 5 内一直进行好氧生物降解作用,水分参与到生物降解的过程当中。同时柱 4 和柱 5 渗滤液产生量较少,与添加物蚯蚓和污泥,容易形成利于好氧生物降解的环境有关。每个填埋柱最初垃圾成分不均匀和填埋初期垃圾不稳定等因素也会影响渗滤液的产生量。

2.2 温度

由图 2 可以明显看出,无论好氧还是厌氧,垃圾

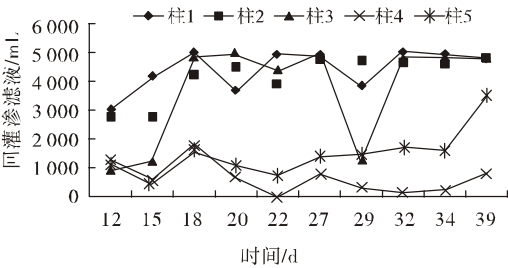


图 1 渗滤液回灌体积随时间变化曲线

Figure 1 Changing curve of recirculation values of leachate during the test period

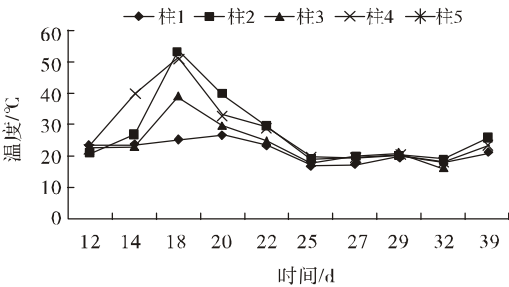


图 2 垃圾填埋柱温度随时间变化曲线

Figure 2 Variable curve of temperature of the column filled with MSW during the test period

填埋柱内温度都呈现先上升再下降最后略微回升的趋势。

柱1在厌氧条件下温度变化不大,其最高温度(26.5℃)出现在填埋后22d。填埋初期,垃圾中易降解组分迅速与填埋垃圾所夹带的氧气发生好氧生物降解反应,生成 CO_2 和水,同时释放一定的热量,表现为温度上升趋势。当填埋柱内氧气被消耗尽,形成厌氧条件,垃圾降解由好氧降解过渡到兼性或厌氧降解,因此温度开始回落并趋于稳定。

在好氧条件下温度变化较为明显,除最高温度(柱3、柱4、柱5分别为53℃、39℃和51℃)大于厌氧柱外,达到高温所需要的时间也比厌氧条件下提前,都出现在填埋后20d。连续曝气使填埋柱内垃圾一直发生好氧生物降解反应,温度数值比同一阶段厌氧条件下高。

在好氧条件下,垃圾填埋初期,填埋层基本呈中温,嗜温性微生物较为活跃,并利用填埋层中可溶性有机物大量繁殖,产生大量热能,使填埋层温度快速升高,此阶段微生物以中温、需氧型为主。当填埋层只剩下部分难分解的有机物和新形成的腐殖质时,温度开始下降,此时嗜温性微生物又占优势,对氧的需求大大减少。

在相同好氧条件下,柱4的温度比柱3和柱5略低,其原因是填埋柱内蚯蚓的活动改善了垃圾中的水气循环,使填埋柱内温度有所下降。

2.3 渗滤液 pH 值

由图3可以看出,各填埋柱经历了一个从酸性环境向中性偏碱环境转变的过程。由于填埋垃圾12d后才开始鼓风,所以填埋前期各柱中可生物降解的固相垃圾逐渐发生水解和酸化反应,此时尚不具备甲烷化反应条件,故水解反应和酸化反应的产物逐渐积累,导致pH值较低,第一次回灌渗滤液pH值都在6.2左右。

除柱2以外,其余4个填埋柱在18d左右,渗滤

液pH值均上升到7.0左右(其中柱4达7.84),而柱2经35d后其pH值才上升至7.14,比其他填埋柱迟20d左右,其原因是柱2在试验过程中没有充分鼓进空气,处于微氧状态,回灌的渗滤液中含有大量有机酸(VFA),酸的积累抑制了水解反应的进一步进行。

柱1和柱2(因试验原因进氧较少)在填埋初期经过极短暂的好氧分解之后,柱内部处于厌氧状态,垃圾中有机成分被分解成有机酸并参与产甲烷反应,随着甲烷过程逐步建立,pH值缓慢回升,但其pH值始终比在好氧条件下低。

柱3、柱4和柱5随着鼓风的进行,其填埋柱内部为好氧状态,柱中可生物降解固相垃圾不再发生水解和酸化反应,而是通过好氧微生物进行降解,因此,各柱pH值呈现上升趋势。

渗滤液回灌3周以后,各柱pH值均变为中性或偏碱性,当其再回流到垃圾填埋柱时,减少了酸性对垃圾层中微生物的抑制,有利于垃圾层中微生物种群综合协调的代谢,加速垃圾的稳定化过程和渗滤液中有机物的进一步降解。

由图3和图4对比可以看出,pH值最低时 COD_G 浓度最高,这是由于污染物质更容易溶于酸性溶液所致。因此,在厌氧状态下的产酸阶段,为避免有机酸积累对 COD_G 降解的抑制,可以在回灌渗滤液之前,对渗滤液的pH值进行调节,由酸性调至中性,创造较好的产甲烷环境,促进 COD_G 的降解。进入产甲烷阶段后,垃圾层缓冲体系可使pH值自行保持在中性偏碱的环境中,无须另外进行pH调节。

同时试验发现,pH值对渗滤液的色度和臭味影响明显。当柱3、柱4、柱5的pH值上升到8左右时,其渗滤液颜色接近浅土黄色且臭味较小;而柱1和柱2在试验结束时pH值仍为弱酸性或中性,渗滤液颜色为墨绿色,具很浓的臭味。

2.4 渗滤液 COD_G 浓度

垃圾填埋场稳定化,是一个同时进行物理、化学和生物反应(其中生物反应占主导)的复杂过程。渗滤液水质的变化,直接反映填埋场内垃圾中有机物在微生物作用下生物降解的过程。由于试验填埋柱控制条件和填埋垃圾降解速率的不同,从而导致各填埋柱中渗滤液 COD_G 浓度变化的不同,图4为试验期间各垃圾填埋柱渗滤液 COD_G 浓度随时间变化曲线。

由图4可以看出,柱1渗滤液 COD_G 浓度一直在40000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 上下,变化不明显;柱2和柱5渗滤液的 COD_G 呈现先上升再下降的趋势;而柱3和柱4则

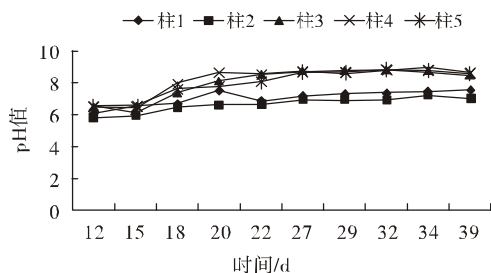
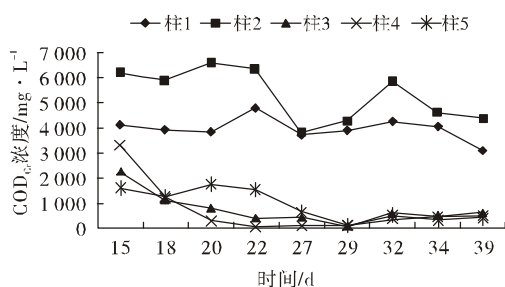


图3 pH值随时间变化曲线

Figure 3 Variable curve of pH values during the test period

图4 COD_{Cr}浓度随时间变化曲线Figure 4 Variable curve of concentrations of COD_{Cr} during the test period

呈现先下降再缓慢回升的趋势。试验运行15 d后,各填埋柱渗滤液的COD_{Cr}浓度分别为41 450、62 150、22 400、33 000、16 025 mg·L⁻¹。产生浓度差别较大的原因是填埋柱氧情况的不同和填埋柱内添加物的作用,以及各垃圾填埋柱装填不均,有机物组成差异较大所致。

柱1渗滤液COD_{Cr}浓度一直在40 000 mg·L⁻¹上下,变化不明显(而氨氮浓度则随着填埋时间的增长有增大的趋势,见图5所示)。说明在该填埋柱中,填埋垃圾已发生一定的降解,但主要是大分子物质水解为挥发性脂肪酸等小分子物质进入渗滤液,渗滤液并没有发生彻底分解,最终因填埋柱内垃圾的酸化而抑制其进一步的降解。

柱2(微氧状态)渗滤液回灌增加了垃圾、水分、微生物和营养物之间的相互接触,使填埋柱内可生物降解固相垃圾不断发生水解反应。由于此时填埋柱尚未进入产甲烷阶段,固相垃圾水解产物不能通过产甲烷反应得到有效去除,不断产生的水解产物的积累造成了填埋柱渗滤液COD_{Cr}浓度呈现上升趋势,pH值不断下降。随着填埋柱过渡到产甲烷阶段,产生渗滤液的pH值有所升高。此后,由于渗滤液中不易被甲烷菌利用的有机物(如腐殖质等)长期存在,直接影响了渗滤液的可生化性,且柱2中较高的氨氮浓度(经不定期监测,此时渗滤液氨氮浓度在1 800 mg·L⁻¹左右)也对甲烷菌的活性有一定的抑制作用,因此渗滤液COD_{Cr}又开始呈缓慢下降态势。

柱3和柱4渗滤液COD_{Cr}浓度从一开始就出现下降趋势。柱3中可降解固相垃圾在好氧微生物作用下进行生物降解效果明显,但比添加蚯蚓的柱4中渗滤液COD_{Cr}浓度波动要大;柱4不仅渗滤液COD_{Cr}浓度明显下降,而且比其他填埋柱提早进入稳定阶段,渗滤液COD_{Cr}浓度最低为725 mg·L⁻¹,这表明在柱4中蚯蚓的活动在改善垃圾中的水气循环的同时,也创

造垃圾中的微生物活跃条件,而蚯蚓本身通过同化和代谢作用也能使垃圾中的有机物质逐步降解。

柱5填埋垃圾时,加入一定消化污泥进行驯化接种,增加了柱5中固有微生物的数量,因而比没添加污泥的填埋柱先进入稳定阶段,同时实现渗滤液COD_{Cr}提前快速下降,进而加快填埋垃圾的最终稳定进程。

2.5 渗滤液氨氮浓度

由图5可以看出,各个填埋柱渗滤液中氨氮浓度均呈现先上升再下降,除柱5外其余各柱最后呈均缓慢回升的趋势。

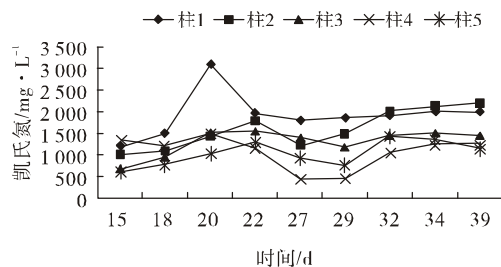


图5 氨氮浓度随时间变化曲线

Figure 5 Variable curve of concentrations of ammonia-N during the test period

渗滤液的产生和氨氮的溶出主要是垃圾水解的结果,因此大流量回灌有利于垃圾在填埋后初始阶段的水解,其实质是填埋层中流动的水较多、水相水解产物浓度低而有利于包括含氮物质在内的各污染组分的水解,反之亦然。

在厌氧状态下,柱1中渗滤液氨氮浓度较高,最高达到3 105.2 mg·L⁻¹。这主要是由于硝化、反硝化细菌为好氧或兼性细菌,在厌氧条件下无法生存,因而无法分解氨氮;同时含氮可生化有机组分的厌氧水解和发酵,以氨气形式释放出来形成氨氮;而渗滤液的回灌又使氨在填埋层中积累,造成氨氮浓度增高。

而柱2由于有少量空气进入,填埋层中处于微氧状态,而反硝化细菌属于兼性细菌,在微氧条件下可以利用硝化反应的产物反应生成N₂,所以其填埋柱内产生渗滤液氨氮浓度比柱1略低。

在整个试验期间,柱3、柱4和柱5中渗滤液氨氮浓度都比在厌氧条件下要低,这是由于硝化、反硝化细菌为好氧或兼性细菌,通过鼓风填埋柱内氧气充足,有利于硝化、反硝化细菌生存,进行有效分解而生成氨氮较少。

在相同好氧条件下,柱4和柱5比柱3渗滤液氨氮的降解程度要快、浓度要低,说明添加蚯蚓和污泥,填埋层中积累了大量的微生物,有利于氨氮的降解。

其中柱5中因为污泥中菌种比较丰富,可在短期内驯化出良好的反硝化菌和硝化菌,在降解氨的同时,又能起反硝化作用脱氮,所以在试验后期出现渗滤液氨氮浓度下降的趋势,在试验结束时柱5中的氨氮浓度达到 $1\,160.6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

2.6 电导率

电导率与溶液的离子性质、浓度以及溶液的粘度有关,同时由于渗滤液本身的复杂性,并且它们之间相互影响。由图6可以看出,电导率随时间的增加呈现先下降再上升的趋势。填埋前期电导率逐渐减小,柱1至柱5在填埋后29 d分别出现最低值 $7\,025$ 、 $5\,595$ 、 $10\,500$ 、 $6\,460$ 和 $10\,700\text{ }\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$,随后电导率随填埋时间的延长而增加。

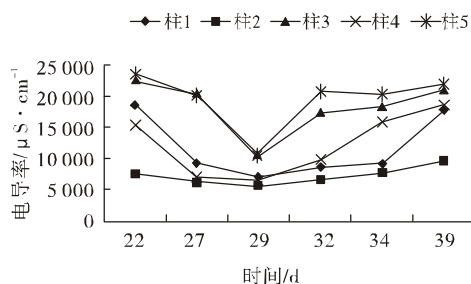


图6 电导率随时间变化曲线

Figure 6 Variable curve of electro-conductivity during the test period

电导率的大小反映了水中解离物质浓度的大小。从图6中看出,柱3和柱5的电导率较大,其渗滤液中解离物质浓度也相应较大,因此渗滤液中 COD_{Cr} 的浓度就相应较小,而柱2则正好相反。这表明有机污染物浓度高的渗滤液中电导率较低,其溶液的电导性差。通过升高温度、加速溶液离子的运动、减少溶液的粘度、增强传质,可以使溶液电导率上升。

3 小结

(1)在好氧垃圾填埋柱中,空气经布气管系统较均匀地释放到垃圾填埋层内,由压力扩散和分子扩散

作用而使得填埋层达到好氧状态,填埋层内微生物利用氧气进行生物氧化还原反应,其渗滤液 COD_{Cr} 和氨氮浓度下降较快,比在厌氧条件下提前进入稳定阶段,进而加快了填埋垃圾的最终稳定化进程。

(2)弱碱性的渗滤液回灌到垃圾层中缩短了垃圾酸性发酵阶段,抑制了高浓度的渗滤液产生,使 COD_{Cr} 有较大幅度的降低。

(3)在垃圾填埋作业时,加入一定量的污泥,对新鲜垃圾进行驯化接种,可以缩短微生物的适应期,尽快在适宜的环境中大量繁殖,增加微生物的数量,以加快垃圾的降解。

(4)垃圾填埋柱中添加蚯蚓可以改善垃圾中的水气循环,同时也使垃圾和其中的微生物得以运动,而蚯蚓本身通过同化和代谢作用也使得垃圾中的有机物质逐步降解。

(5)在好氧填埋过程中渗滤液产生量比厌氧条件下少,约是厌氧状态下的33%左右。为减少渗滤液产生量,宜发展好氧填埋或准好氧填埋技术。

(6)通过本试验研究,大体了解了城市生活垃圾渗滤液在好氧及厌氧条件下的变化情况,为填埋场渗滤液的控制与预防提供了一些有效的依据。但本试验只代表一段时期内渗滤液的变化趋势,我们会把这方面的工作继续下去,对渗滤液水质的治理提供切实有效的依据。

参考文献:

- [1] 张祥丹,王家民.城市垃圾渗滤液处理工艺介绍[J].给排水,2000,26(10):14-17.
- [2] 卢成洪,徐迪民.回灌法处理城市垃圾填埋渗滤液[J].上海环境科学,1997,16(1):38-40.
- [3] 赵由才,朱青山.城市生活垃圾卫生填埋场技术与管理手册[M].北京:化学工业出版社,1999.
- [4] 张陆良,刘 丹.准好氧填埋早期渗滤液特征浅析[J].四川环境,2004,23(3):28-30,34.