

生活垃圾填埋气中甲烷短期产生时空变化规律探究

郝鑫瑞,李姝静,曾媛,王乐,曾晟*

(南华大学资源环境与安全工程学院,湖南 衡阳 421001)

摘要:采用自制垃圾填埋甲烷测量装置对衡阳某垃圾处理站临时堆放的处于发酵期的垃圾开展浓度测定试验,探究垃圾填埋气中甲烷在短期内产生的时空规律。结果表明:填埋场中甲烷浓度存在明显的气体分层现象,其浓度主要与纵向填埋深度呈正相关,与距填埋场边界的水平距离呈负相关;填埋初期,距离地表越近,同一水平方向甲烷浓度在不同区域变化较大,随着填埋时间的增长其浓度变化趋于稳定;填埋场内部温度与垃圾埋深和外界温度成线性相关,并且与垃圾埋深成反比,与外界温度成正比。

关键词: 甲烷;填埋气;填埋深度;时空变化规律;生活垃圾

中图分类号:X799.3

文献标志码:B

文章编号:1006-2009(2020)05-0052-04

Study on Spatiotemporal Variation Rules of Methane from Landfill Gas

HAO Xin-ru, LI Shu-jing, ZENG Yuan, WANG Le, ZENG Sheng*

(School of Resources Environment and Safety Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: The spatiotemporal variation rules of methane from landfill gas was studied by using a self-made equipment in measuring the concentration of fermentative methane generated from a temporary garbage dump in Hengyang. The results showed the concentration of methane took on obvious gas stratification, and was positively correlated with the vertical depth of the landfill but negatively correlated with the horizontal distance from the boundary of the landfill. At the initial stage of landfilling, in the same horizontal direction, the closer to the ground, the concentration of methane varied greatly in different regions. The concentration tended to be stable as time went on. The internal temperature of the landfill had a linear correlation with the depth of the landfill and the outside temperature, which was proportional to the outside temperature and inversely proportional to the depth of the landfill.

Key words: Methane; Landfill gas; Landfill depth; Spatiotemporal variation rules; Domestic waste

生活垃圾在填埋场通过微生物厌氧降解产生污染土壤与水体的渗滤液^[1],同时也会产生大量的垃圾填埋气^[2]。填埋气不管是直接利用还是间接利用均会产生巨大的经济效益^[3]。将垃圾进行资源化处理,既能解决“垃圾围城”现象,又能实现从废弃垃圾到环保清洁能源的转变^[4]。因此,垃圾填埋场甲烷产气时空变化规律研究对提高甲烷采收率和开发利用具有一定意义。

对垃圾填埋气的研究主要集中在甲烷的产气规律与影响因素研究^[5],其研究主要是采用数学模型预测和实测的方法,已形成了德国模型、IPCC

模型和 MTM 模型等甲烷产出的预测模型,其中 IPCC 模型预测结果更接近真实值^[6]。实测研究结论主要有:气压及其变化和风速与填埋气体甲烷产气量有密切的关系^[7];垃圾填埋场废弃物腐烂率、生物降解条件和垃圾含水条件等是影响甲烷产出的主要参数^[8];垃圾填埋场的覆盖系统对气体排

收稿日期:2019-08-26;修订日期:2020-08-21

基金项目:湖南省大学生创新创业训练基金资助项目(No. 338)

作者简介:郝鑫瑞(1994—),男,河北邢台人,本科,研究方向为矿山环境治理。

*通信作者:曾晟 E-mail: usczengs@126.com.

放影响较大,其表面上方的甲烷浓度变化大^[9]。我国对填埋气产气规律研究起步较晚,至今还未得出一套较为成熟的产气规律及产气量估算模型。已有学者以国外模型为基础建立适合当地的模型^[10-11]。另外,IPCC 缺省估算法已在填埋气测算中得到了应用。目前的研究主要集中于预测模型和大气及垃圾填埋场所处的环境对产气的影响。由于垃圾填埋场具有一定的埋深,因而填埋场中深层产气规律仍有待进一步的研究,特别是在垃圾填埋场短期产气规律。今以某城市生活垃圾填埋场的垃圾为例,自制垃圾填埋产气量测试试验装置,开展了室外温度、填埋深度及横向埋深对甲烷产气浓度影响的试验研究,以探究垃圾填埋场合理埋深能获得最大的甲烷产出率,为后期实现垃圾填埋气甲烷资源的最大利益化提供技术支持。

1 试料与方法

1.1 试验材料与装置

试验样品来源于衡阳市某生活垃圾处理站,该处理站的垃圾中有机物约占 35%,无机物约占 60%,其他约占 5%。厨余、纸类、木类、塑料、织物、灰渣垃圾占比分别为 21.8%、11.7%、6.5%、16.8%、17.2%、19.0%,其他垃圾占比为 7.0%。试验样品为临时堆放的处于发酵期的生活垃圾,取样 126.4 kg。为使垃圾降解速度加快,更好发挥垃圾产气的效果,在垃圾中掺杂有机物质蔬菜残渣 5.0 kg,最终垃圾样品的总质量为 131.4 kg。

PP 管材垃圾填埋气收集试验装置见图 1。内部布置直径 15 mm 的导气管,导气管分为主导气管和支导气管。主导气管上每隔 100 mm 开凿 1 个导气孔(共 25 个),支导气管长度为 400 mm,间距为 400 mm,共布置 6 根支导气管,在每根支导气管上间距 50 mm 布置 1 个导气孔(共 8 个)。装置外壁每隔 900 mm 布置 1 个温度计,竖向布置两排,每排 3 个温度计,两排横切面相互垂直,共计 6 个温度计。距装置底部 20 mm 处设有供渗滤液排出的导液口,并安装阀门。试验装置各个接口应保证密封条件良好。

1.2 试验方法

装置底端用 150 mm 的细沙柱封住后覆盖土工布,将垃圾与蔬菜残渣搅拌均匀后装入装置中,垃圾装入高度为 2 500 mm,再覆盖土工布,用细沙将剩余空间填实。每个支管布置 4 个测量点,测量

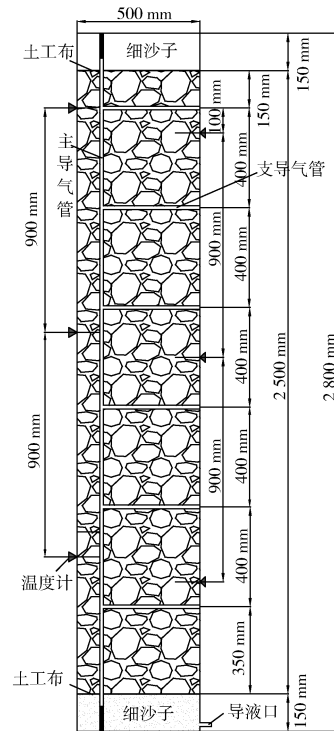


图 1 试验装置

Fig. 1 The experimental device

点分别距离装置外壁 20 cm、15 cm、10 cm 和 5 cm。当垃圾装入试验装置 4 周后用上海零徂集气泵和 BH-90 型可燃性气体检测仪在各支导气管口检测甲烷浓度,同时记录 6 个温度计数据。每隔 1 d 测 1 次,共采集 13 组数据。

2 结果与分析

2.1 甲烷浓度随填埋时间及深度的变化

根据所测甲烷浓度数据分析得到各时间点甲烷浓度的分布云图,部分数据见图 2(a)(b)(c)(d)(e)(f)。

由图 2 可见,可燃性填埋气甲烷的浓度随填埋深度的增加而增大,在装置底部达到最大值,在同一水平面上,浓度分布较为均匀,且出现了明显的浓度分层现象。这是由于随着垃圾填埋深度的增加,垃圾填埋场中温度升高的同时氧气浓度逐渐降低,厌氧微生物活性逐渐增强,导致甲烷产气量也随之大幅度增加。靠近外壁的气体浓度低于中央部分的浓度,原因是在每次检测时造成少部分空气混入,氧气含量较内部略高,厌氧产甲烷微生物的活性较低。

对试验期间不同埋深条件下的甲烷浓度进行线

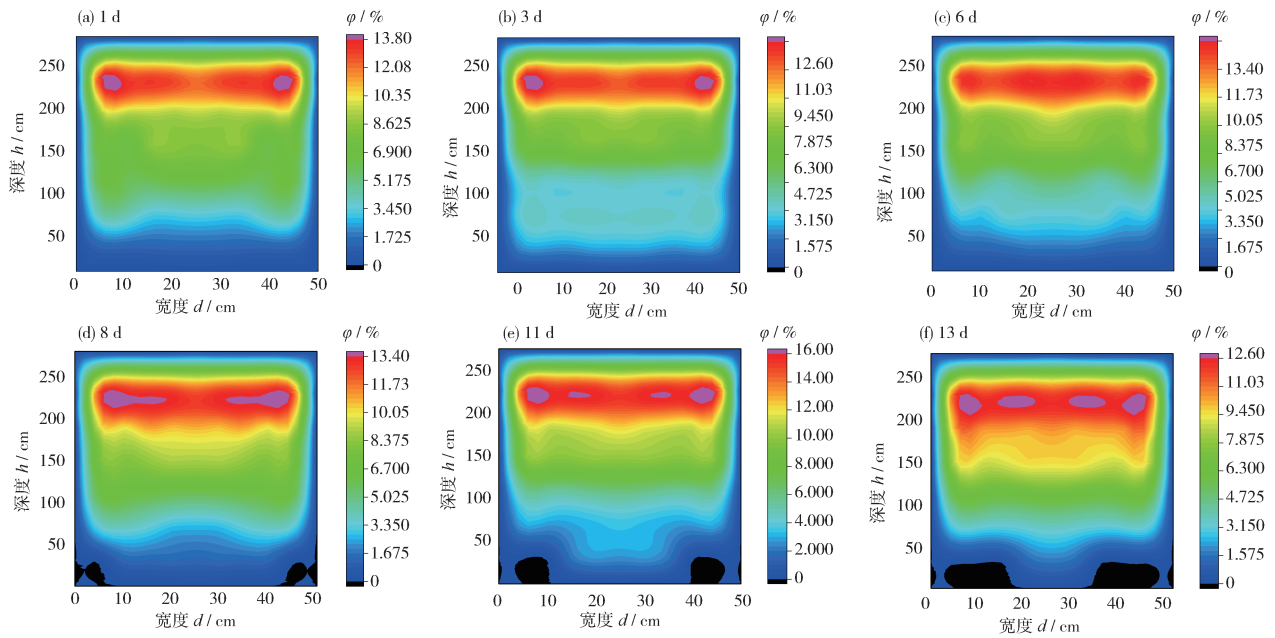


图 2 甲烷浓度的部分时间空间分布

Fig. 2 Spatiotemporal distribution of methane concentration

性回归分析, 得到回归方程 $C = 0.0535x + (-0.484 \pm 0.365)$ 。说明甲烷析出浓度 C 与埋深 x 呈现显著的正相关关系, 埋深增加 100 cm, 甲烷体积分数增加 5.1% ~ 6.4%, 最高为 16%。因此, 垃圾填埋场的垃圾埋深应当予以控制。

通过对不同埋深(300 mm、700 mm、1 100 mm、1 500 mm、1 900 mm、2 300 mm)水平面上不同测点的甲烷体积分数分析, 得到同一水平方向上甲烷产出的体积分数变化特征, 见图 3(a)(b)(c)(d)(e)(f)。

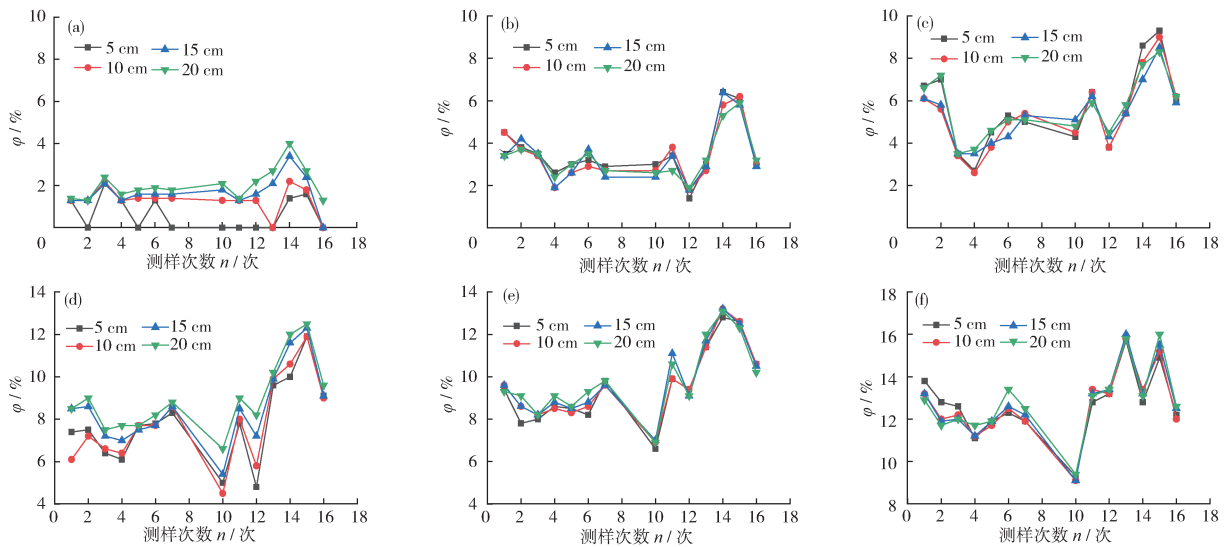


图 3 不同埋深水平各个测点的甲烷浓度特征

Fig. 3 Characteristic of methane concentration at each measurement point in different depths of the landfill

由图 3 可见, 在纵向埋深最表层的 4 个测点的体积分数变化差最大, 随着埋深的增加, 各测点之

间的差值越来越小, 说明同一水平的甲烷产出体积分数分布越来越均匀, 甲烷产出状态越来越稳定。

随着填埋时间的增长,4个测点的体积分数差也逐渐减小,最后趋于稳定,表明甲烷最先由装置中心产生,再逐渐向外扩散,与外围体积分数达到平衡状态。因此,影响甲烷体积分数分布的主要因素是纵向埋深而非横向埋深。纵向埋深越大,横向甲烷体积分数产生效率越稳定,且随着填埋时间的增加,同一水平面上的甲烷体积分数逐渐相等。

2.2 填埋场深度与场内外温度的变化特征

填埋装置内部采集的温度随深度变化的关系可以看出内部温度与填埋深度之间存在明显的负相关关系,线性拟合曲线的斜率平均值为 -0.03 ,填埋场内温度随填埋深度的变化可以表示为公式(1)。纵向填埋深度对填埋场内的温度有一定影响,在同一测量时间下,纵向填埋深度每增加 1 m ,填埋场温度呈现下降趋势,每米下降梯度约为 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由于方程式(1)截距 b 的意义为填埋深度为 0 m 时的温度,将室温与截距进行线性拟合,得到室温 z 与截距 b 之间的关系方程(2)。将公式(1)与(2)合并,得到装置内温度与填埋深度 $x(\text{ cm})$ 和外界温度 $z(\text{ }^{\circ}\text{C})$ 的二元一次方程公式(3)。由此可见,填埋场内部温度与填埋深度成反比关系,与外界温度成正比关系,且外界温度较填埋深度对填埋场内部温度的影响更大。装置内部为密闭环境,由上至下产生的甲烷浓度逐渐增加,故底部的温度较低。

$$T = -0.03x + b \quad (1)$$

$$b = 0.82z + 9.91 \quad (2)$$

$$T = -0.03x + 0.82z + 9.91 \quad (3)$$

综上,填埋场内部的温度过高容易引发安全事故,在室内温度一定时,要控制垃圾填埋场填埋深度。

3 结语

(1) 垃圾填埋场产气甲烷浓度随时间和空间有较大变化,垃圾填埋气中甲烷浓度主要受纵向填埋深度的影响,随填埋深度的增加而增加,在装置底部达到最大值。距离地表越近,从横向填埋深度来看填埋气中甲烷浓度波动越大,即距离填埋场中心轴越近,甲烷浓度越高。随着填埋时间的增长,同一水平面上的甲烷浓度逐渐相等。

(2) 在密闭的装置内部,从上往下因产甲烷微

生物的活性越来越好,埋深垃圾内部以嗜中温甲烷菌为主要群落,有利于代谢产甲烷。垃圾填埋场内部温度与外界大气温度密切相关,外界温度升高,填埋场内部温度也随之升高。就衡阳市某垃圾处理站的垃圾而言,该处生活垃圾填埋后其内部温度与纵向填埋深度成反比,其温度下降梯度为每米约为 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 上述研究受到实验装置尺寸的限制,垃圾填埋气甲烷的产出时间-空间效应还需要大尺度的试验进一步验证,为垃圾填埋气综合利用提供有力的理论数据。

[参考文献]

- [1] 方刘兵,尹奇峰,姜春露,等.基于电阻率法的垃圾渗滤液渗漏及迁移规律动态监测技术探讨[J].环境监测管理与技术,2018,30(5):44-48.
- [2] 丁世存,黄启飞,金典,等.准好氧填埋氧气扩散模拟分析[J].环境科学与技术,2010,33(1):102-106.
- [3] 宋钊,万方,陈晓婷,等.非分散红外线气体法测定生活垃圾填埋气中二氧化碳[J].环境监测管理与技术,2008,20(3):47-49.
- [4] 石建屏,徐黎黎,孙会宁,等.城市生活垃圾填埋气测算及资源化利用研究[J].再生利用,2016,9(12):32-35.
- [5] WIKRAMANAYAKE E D, OZKAN O, BAHADUR V. Landfill gas-powered atmospheric water harvesting for oilfield operations in the United States[J]. Energy, 2017, 138: 647-658.
- [6] GOLLAPALLI M, KOTA S H. Methane emissions from a landfill in north-east India: Performance of various landfill gas emission models[J]. Environmental Pollution, 2018, 234: 174-180.
- [7] AGHDAM E F, SCHEUTZ C, KJELDSEN P. Impact of meteorological parameters on extracted landfill gas composition and flow[J]. Waste Management, 2019, 87: 905-914.
- [8] NWAOKORIE K J, BAREITHER C A, MANTELL S C, et al. The influence of moisture enhancement on landfill gas generation in a full-scale landfill[J]. Waste Management. 2018, 79: 647-657.
- [9] SHEN S L, CHEN Y M, ZHAN L T, et al. Methane hotspot localization and visualization at a large-scale Xi'an landfill in China: Effective tool for landfill gas management[J]. Journal of Environmental Management, 2018, 225: 232-241.
- [10] FENG S J, ZHENG Q T, XIE H J. Axisymmetric gas flow model for bioreactor landfills incorporating MSW compression and leachate recirculation[J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(1): 1-13.
- [11] 龚利华.生活垃圾填埋场填埋气产生量估算模型[J].环境科学与技术,2009,32(9):73-76.