

垃圾填埋场甲烷释放速率的研究

刘鸿霆, 李启彬, 刘丹, 韩智勇 (西南交通大学环境科学与工程学院, 四川成都 610031)

摘要 采用静态箱法对某填埋场的甲烷释放速率进行了研究。研究表明, 填埋时间对填埋垃圾的产甲烷速率具有明显影响, 垃圾填埋后 2 年左右甲烷释放速率达最大值, 而后甲烷释放速率又开始下降; 由于季节温度变化的影响, 夏季填埋场的甲烷释放速率明显高于春季; 一天内甲烷释放速率变化较大, 上午 11:00 左右甲烷释放速率达到最大, 下午逐渐下降, 夜间至凌晨甲烷释放速率最低; 由于降雨导致温度下降和覆土层含水率增加, 填埋场甲烷释放速率明显下降。

关键词 垃圾填埋场; 静态箱法; 甲烷释放速率

中图分类号 X701 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)23-11151-03

Study on the Release Rate of Methane from Solid Waste Landfill

LIU Hong-ting et al (School of Environmental Science & Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031)

Abstract The methane release rate of a landfill was studied by using the static chamber technique. The results showed that the time of landfill obviously impacted the methane release rate of the waste, which reached the peak 2 years after the garbage has been filled, then began to decline. Due to the impact of the seasonal changes in temperature, the methane release rate in summer was obviously higher than that in spring. Furthermore, the methane release rate also changed greatly during a day, reaching the peak around 11, declining gradually in the afternoon and reaching the minimum during the midnight to the early morning. Otherwise, because of the temperature dropping and the moisture increasing in soil after the rain, the methane release rate was greatly decreased.

Key words Landfill; Static chamber technique; Methane release rate

甲烷是主要的温室气体之一, 对全球温室效应的贡献约为 22%^[1]。填埋场是主要的甲烷排放源之一, 全球填埋场每年的甲烷排放量约为 40 t, 占全球总排放量的 8% 左右^[1]。在我国, 卫生填埋仍是目前生活垃圾处理的主要方式, 约占处理总量的 86%, 年处理量为 $6\ 404.0 \times 10^4$ t^[2]。为研究填埋场甲烷释放对温室效应的影响, 同时也为填埋场甲烷的资源化利用提供科学依据, 正确掌握填埋场的甲烷释放速率及其变化规律具有重要的现实意义。

影响填埋场甲烷释放速率的因素很多, 包括大气压、填埋年龄、含水率、温度等, 因而给填埋场甲烷释放速率的正确理论计算带来了很大困难。尽管国内外已有大量针对填埋垃圾产甲烷的实验室模拟研究, 但填埋场产甲烷的环境难以完全在实验室中得以实现, 并且多数试验时间偏短, 因此试验结果仍存在一定的偏差。而通过填埋场甲烷释放速率的现场实际监测可弥补理论计算和实验室模拟的诸多不足, 已成为近年研究的热点。

笔者通过对西南地区某垃圾填埋场的现场监测, 计算不同季节、不同气候和不同时间该填埋场的甲烷释放速率, 以了解该填埋场甲烷排放速率的变化规律。

1 研究对象及方法

1.1 填埋场概况 笔者选取的填埋场是根据国家有关标准建设的一座大型垃圾卫生填埋场, 一期工程占地 55.73 hm², 库容 1 135 万 m³, 1993 年建成投入使用, 目前已达到设计使用年限, 库容基本饱和。

1.2 研究方法

1.2.1 甲烷释放速率监测。采用静态箱技术对填埋场气体进行采样。该技术的主体工具为通量箱, 分为 2 个部分, 上部是 50 cm × 50 cm × 25 cm 的矩形箱体, 下部是 50 cm × 50 cm × 15 cm 的矩形箱体, 箱体材质为 PVC。

固定部分埋置在填埋场覆土层中, 测试时将箱盖插在水封槽内, 注水密封。分别在 0、10、20、30 和 40 min 从气体取样口取样; 取样同时记录箱内温度变化, 以校正气体浓度。气样中甲烷的浓度用气相色谱 GC-14B 分析测试。测试条件: FID 检测器, 柱温 100 °C, 进样口温度: 100 °C, 汽化室: 100 °C, 转化炉: 360 °C, 以氢气作载气, 进气速度 50 ml/min。

甲烷排放速率计算公式:

$$J = \left(\frac{V}{A} \right) \left(\frac{dc}{dt} \right) \quad (1)$$

式中, J 为甲烷排放速率 [mmol/(m²·h)]; V 为箱盖和固定部分形成的空间体积 (m³); A 为固定部分的覆盖面积 (m²); dc/dt 为单位时间内箱内甲烷摩尔浓度的变化 [mmol/(m³·h)]。

1.2.2 气象条件和覆土层测试。大气压强用长春气象仪表厂生产的空盒气压表测试, 测试精度为 0.01 kPa。气温用温度计测试, 精度为 0.1 °C; 覆土层厚度在现场用刻度尺测量。

1.2.3 测点布置。在研究填埋场内共布置了 5 个测点, 各测点的基本参数见表 1。

表 1 各测点的基本参数

Table 1 The basic parameters of each monitoring site

测点编号	填埋时间//年	覆土层厚度//cm
No. of monitoring sites	Landfill time	Thickness of overlay soil
1#	1.0	33
2#	1.5	34
3#	2.0	35
4#	3.0	36
5#	5.0	34

2 结果与分析

2.1 甲烷释放速率随垃圾填埋年龄的变化趋势 图 1 表示的是 5 个填埋时间不同的测点在 3、5 和 7 月 3 次测得的甲烷释放速率。由于覆盖层厚度为 33~36 cm, 相差不大, 故不考虑覆盖层厚度的影响。图 1 显示, 填埋场的甲烷释放速率随垃圾填埋年龄的不同而呈现明显的差异。除填埋年龄达 6 年的测点甲烷释放速率始终为负值外, 在其余 4 个测点中,

甲烷释放速率均先随填埋时间的增加而增加,填埋时间为2年时,甲烷释放速率达到最大,3次测量值为1 545.34 ~ 2 102.02 mmol/(m²·h)。填埋时间3年的甲烷释放速率较填埋时间2年的下降87.92%。

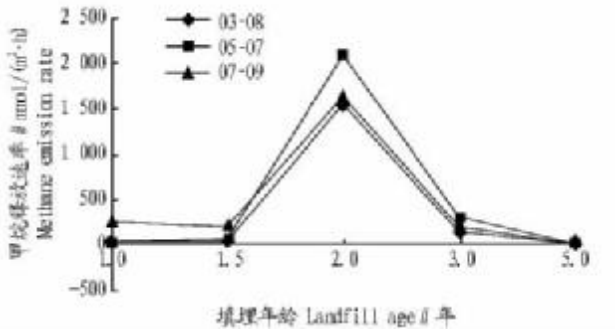


图1 不同填埋年龄的甲烷释放速率变化趋势

Fig. 1 The trend of methane emission rate in the landfill of different ages

在垃圾进入填埋场的初始阶段,垃圾位于填埋场表面,垃圾密度低,孔隙率大,废物与空气有一定接触;同时,好氧降解速度比厌氧快,所产生的气体中二氧化碳含量高;随着填埋年龄增加,垃圾进入水解酸化阶段,产气量降低;待水解酸化完成后,垃圾进入产甲烷阶段,产气量增加,甲烷浓度逐渐升高,可达60%以上;随着有机物的逐渐消耗,垃圾进入稳定化阶段,产气速率和甲烷浓度又开始下降,直至最后稳定^[3]。从该填埋场的监测结果可以看出,该填埋场产甲烷的最佳时间是填埋后2~3年。

填埋时间达5年的5#测点甲烷释放速率为负值,表明该测点处不仅没有甲烷释放,相反其覆土层还氧化了大气中的甲烷。填埋场覆土中含有大量的嗜甲烷菌,这些细菌对于控制填埋场CH₄的排放非常重要。嗜甲烷菌能够将CH₄作为能源和碳源,氧气为电子受体,通过甲烷单氧酶、甲醇脱氢酶、甲醛脱氢酶和甲酸脱氢酶4步催化反应,将垃圾填埋气中的CH₄最终氧化为H₂O、CO₂并形成细胞质^[4]。Boeckx和Bogner等也发现这一现象,其研究测得的填埋场个别区域的甲烷释放速率为-0.02 ~ -0.39 mmol/(m²·h)^[5-6]。该现象为日后通过填埋场覆土层控制其甲烷排放提供了依据。

2.2 甲烷释放速率随月份的变化趋势 图2表示的是填埋时间为1年的1#测点的甲烷释放速率在3~8月间的变化趋势。结果表明,随着温度由17.3℃逐渐升高到38.5℃,该测点的甲烷释放速率也相应由25.01 mmol/(m²·h)上升到352.46 mmol/(m²·h)。

填埋场气体的产生与甲烷菌的活跃程度有关,甲烷菌活跃的适宜温度在30~65℃,过低或过高的温度都会使填埋气的产生明显下降^[7]。Schutz等发现产CH₄最低、最佳和最高的温度分别是15℃、35℃和大于40℃^[8]。Kenneth等^[9]和Barlaz等^[10]对填埋场产气的最佳温度进行了探讨,研究结果表明,产甲烷的最适宜温度为41℃。Mata-Alvarez和Vitoria^[11]研究发现,最大甲烷产生速率在42℃,但累积最大甲烷产量出现在34~38℃。Robert Ham等^[12-13]认为,垃圾填埋场中30~40℃是最适合微生物产气的温度。图2显示,该测点的甲烷释放速率的变化趋势完全符合上述研究中有关甲烷产生与温度变化的规律。

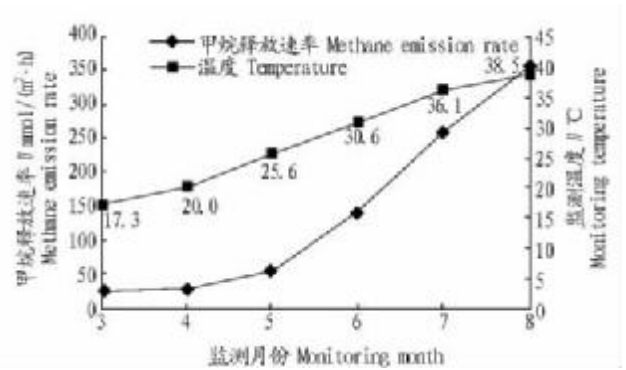


图2 不同月份的甲烷释放速率变化趋势

Fig. 2 The trend of methane emission rate in different months of one year

2.3 甲烷释放速率在一天中的变化趋势 图3表示的是填埋时间1年的1#测点的甲烷释放速率在6月20日一天中的变化情况。图3显示,甲烷释放速率在一天中呈现先升后降的变化趋势。白天10:45其甲烷释放速率最大,达140.95 mmol/(m²·h)。此后,其甲烷释放速率逐渐下降,凌晨5:45仅75.32 mmol/(m²·h)。

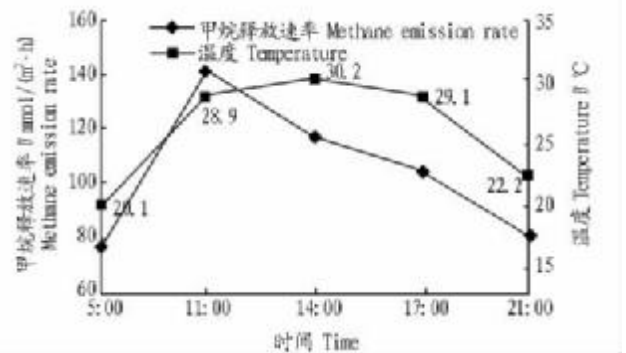


图3 不同时间的甲烷释放速率变化趋势

Fig. 3 The trend of methane emission rate at different time of one day

甲烷释放速率在一天中的变化主要还是与温度变化有关。夜间温度低,甲烷释放速率也低;白天随着温度的增加,其甲烷释放速率也迅速上升。11:00~17:00尽管温度仍较高,但甲烷释放速率却已开始下降,其原因还有待于进一步研究。

2.4 降雨对甲烷释放速率的影响 图4表示的是降雨对填埋时间1.5年的2#测点的甲烷释放速率的影响。图4显示,降雨对填埋场甲烷释放速率的影响较大,降雨后甲烷释放速率只有降雨前甲烷释放速率的40%左右。除降雨后温度大幅下降的影响外,降雨改变了覆土层的含水率,而甲烷在水相中的运移速度仅为气相的十万分之一^[14],覆土层的含水率由于降雨而突然增加,必然会大大阻碍甲烷在覆土层中的运移速度;如果填埋场内部有积水,则被积水浸没的部分不利于甲烷菌的生存;同时渗滤液会带走大量的有机组分,从而使甲烷的释放速率大幅下降。

3 结论

应用静态箱法对某垃圾填埋场甲烷释放速率变化规律的研究,可以得到以下结论:

(1) 填埋时间对垃圾的产甲烷速率具有明显影响。垃圾填埋后,甲烷释放速率逐渐增加,到2年时达最大值,随后甲

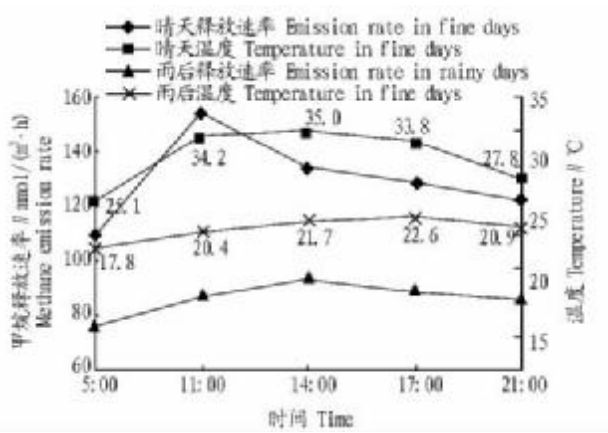


图 4 晴天和雨后甲烷释放速率变化趋势

Fig. 4 The change trend of methane emission rate in fine days and rainy days

甲烷释放速率又开始下降。

(2) 由于季节温度变化的影响, 夏季填埋场的甲烷释放速率明显高于春季。

(3) 一天内填埋场的甲烷释放速率变化较大。上午 11:00 左右甲烷释放速率达到最大, 下午甲烷释放速率逐渐下降, 夜间到凌晨甲烷释放速率最低。

(4) 降雨对填埋场甲烷释放速率的影响较大。除降雨导致温度下降的作用外, 覆土层含水率增加导致甲烷运移速度下降也是主要的影响因素。

参考文献

[1] VISSCHER A D, CLEEMPUT O V. Simulation model for gas diffusion and methane oxidation in landfill cover soils [J]. Waste Management, 2003, 23 (7): 581 - 591.
 [2] 国家环境保护总局. 2003 年中国环境现状 [Z]. 北京: 国家环境保护总局, 2004: 1727 - 1731.

[2] Ministry of Environmental Protection of The People's Republic of China. The status in quo Environment of China 2003 [M]. Beijing: Ministry of Environmental Protection of The People's Republic of China, 2004: 1727 - 1731.
 [3] U S Army Corps of Engineers. Landfill Off-Gas Collection and Treatment Systems [R]. Washington: U S Army Corps of Engineers (ETL1110-1-160), 1995: 19 - 20.
 [4] HANSON R S, HANSON T E. Methanotrophic bacteria [J]. Microbiological Reviews, 1996, 60: 439 - 471.
 [5] BOECKX P, CLEEMPUT O V, VILLARALVO I. Methane emission from a landfill and the methane oxidation capacity of its covering soil [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1996, 28 (10/11): 1397 - 1405.
 [6] BOGNER J E, SPOKAS K, BURTON E, et al. Land-fill as atmospheric methane sources and sinks [J]. Chemosphere, 1995, 31 (9): 4119 - 4130, 1731.
 [7] CHAIAMPO F, CONTI R, COMETTO C. Morphological Characterisation of MSW Landfills [J]. J Res Conver and Recycling, 1996, 17 (2): 37 - 45.
 [8] SCHUTZ H, SEILER W, CONRAD R. Influence of soil temperature on methane emission from paddy fields [J]. Biogeochemistry, 1990, 11: 77 - 95.
 [9] KENNETH E H, ROBERT E K, ROBERT K H. Temperature effects: methane generation from Land fill samples [J]. Journal of Environmental Engineering Division, 1982, 108: 629 - 638.
 [10] BARLAZ M A, MIKE M W, HAM R K. Gas producing parameters in sanitary landfill simulators [J]. Waste Management and Research, 1987, 5 (1): 27 - 39.
 [11] MATA-ALVAREZ J, MARTINEZ-VIRURTIA A. Laboratory simulation of municipal solid waste fermentations with leachate recycle [J]. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 1986, 36: 547 - 556.
 [12] HAM R K, BARLAZ M A. Measurement and Prediction of landfill gas quality and quantity. Proceeding of the ISWA symposium on process, technology and environmental impact of sanitary landfills [M]. Italy: Cagliari, Sardinia, 1987: 20 - 23.
 [13] ROBERT K H, MICHELE R N, PAUL F. Fritschel chemical characterization of fresh kill landfill refuse and extracts [J]. Journal of Environmental Engineering, 1993, 119 (6): 1176 - 1195.
 [14] 陈敏恒, 丛德滋, 方图南, 等. 化工原理 (下册) [M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2000: 1 - 23.
 [14] CHEN M H, CONG D Z, FANG T N, et al. The elements of chemical engineering (the second scroll) [M]. 2nd ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2000: 1 - 23.

(上接第 11150 页)

[21] 牟永铭, 朱光良. 基于 GIS 技术的浙江省酸雨区分布研究 [J]. 科技通报, 2005, 21 (3): 356 - 359.
 [22] VEROUSTRAETE F, SABBE H, RASSE D P, et al. Carbon mass fluxes of forests in Belgium determined with low resolution optical sensors [J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25 (4): 769 - 792.
 [23] 孙红雨, 王长耀, 牛铮, 等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子

关系——基于 NOAA 时间序列数据分析 [J]. 遥感学报, 1998, 2 (3): 204 - 210.

[24] 孙睿, 朱启疆. 中国陆地植被净第一性生产力及季节变化研究 [J]. 地理学报, 2000, 55 (1): 36 - 45.
 [25] 顾晓鹤, 宋国宝, 韩立建, 等. 基于变化向量分析的冬小麦长势变化监测研究 [J]. 农业工程学报, 2008, 24 (4): 159 - 165.