

文章编号: 1673-9469 (2018) 04-0095-06

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2018.04.020

不同渗滤液水位对垃圾土产气特性的影响研究

陈 溧^{1, 2}, 李志强^{1, 2}

(1. 河海大学 岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学 岩土工程研究所, 江苏 南京 210098)

摘要: 针对填埋场垃圾含水率沿纵向差异性较大, 且较多垃圾处于渗滤液液面以下, 降解规律较为复杂等问题。对无锡桃花山填埋场新鲜垃圾进行分拣、破碎, 分别使用渗滤液原液、渗滤液(pH=7.45)及清水(pH=7.45)进行含水率控制, 通过恒温水槽控制降解温度为41℃, 进行现场垃圾的室内温控降解试验。试验结果表明: 相同含水率条件下, 产气速率第一峰值、二次产气开始时间及累计产气量, 均为原液试样>渗滤液(pH=7.45)试样>水(pH=7.45)试样, 且与含渗滤液(水)率呈正相关。

关键词: 垃圾土; 降解规律; 含水率; 气体成分; 渗滤液

中图分类号: TU411

文献标识码: A

Effect of different leachate water level on gas production characteristics of municipal solid waste degradation

CHEN Li^{1, 2}, LI Zhiqiang^{1, 2}

(1. Key of ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Nanjing 210098, China;
2. Research Institute of Geotechnical Engineering, Hohai University, Nanjing, 210098, China)

Abstract: Municipal solid waste(MSW) produce plenty of leachate in the process of landfill after hydrolysis and degradation, which leads to the moisture content of the MSW along the depth direction very different. Most of the MSW is below the liquid level of leachate, which makes the degradation rules complicated. The samples from Wu Xi Tao hua shan Landfill were crushed by scissors and mixed, and the water content was carried out by using leachate, leachate (pH=7.45) and water(pH=7.45). The changing external temperature was simulated by adjusting the water tank in the apparatus, and the temperature of the tank water was monitored to keep 41℃ during this degradation test. The following conclusions were drawn: Under the same moisture content, the first peak of gas generation rate, the start time of secondary gas production and LFG cumulative volume have the same rule, which is specimen with leachate>specimen with leachate (pH=7.45)>specimen with water(pH=7.45), and correlated with leachate (water) rate.

Key words: municipal solid waste; degradation; moisture content; LFG composition; leachate

我国作为发展中国家, 城市生活垃圾无害化处理, 卫生填埋法是现阶段的主要处理方式。影响垃圾土降解产气的因素较多且复杂^[1-5]。水作为营养物质、酶、胞外酶和气体的溶剂, 以及在不同转化时(水解过程)作为化学有效物质, 水的存在是微生物活动和厌氧降解成功的基本条件^[6-8]。国内外学者

关于渗滤液促进垃圾土降解开展了大量研究^[9-10]。但是现有的研究多以单一或几个因素的影响进行考虑, 缺乏结合我国填埋场水位壅高的现状^[11], 同时考虑温度、含水率及渗滤液中微生物的影响进行试验研究。本实验在无锡市桃花山填埋场新填埋垃圾现场取样, 对新鲜垃圾进行分拣, 通过设置不同的含水

收稿日期: 2017-12-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(重点项目 41510637)

作者简介: 陈溧(1994-), 男, 江苏大丰人, 硕士研究生, 研究方向为温度对城市生活垃圾填埋场沉降变形特性影响。

率及完全处于水位以下的试样,模拟填埋场新鲜填埋层至水位以下垃圾土的降解环境,并对降解过程中的产气速率、累计产气量、气体成分及最终 pH 值进行了检测。

1 试样制作和试验装置

1.1 试样准备

本次试验采用的新鲜垃圾来自无锡市桃花山城市生活垃圾填埋场,分别对 6 个取样点进行取样,分拣结果均值如下:经检测试样天然含水率为 58.2%,干重有机质含量为 62.74%。

根据表 1 中所示典型垃圾土组分,采用现场新鲜垃圾进行分拣破碎,使其粒径小于 4 cm。按原组分比例称重 5 kg,配制 4 种不同含水率分别为 58%、70%、85% 以及处于液面以下完全饱和的垃圾土试样,每组含水率试样根据液相成分不同设三个试样,分别为只加渗滤液试样, pH=7.45 渗滤液

表 1 无锡填埋场生活垃圾典型组分及含水率

Tab.1 Typical components and moisture content of MSW in Wu Xi Landfill

组分	湿重百分比 /%	典型含水率 /%
厨余	37.62	65.64
纸制品	11.33	61.54
竹木	6.87	58.03
塑料	16.99	51.39
织物	6.61	58.83
金属	1.5	21.02
玻璃	2.13	0.33
渣土	4.06	54.89
其他	11.75	55.55

表 2 试验试样配比

Tab.2 Composition ratio of samples

序号	含水率 /%	a: 渗滤液原液 /kg	b: 渗滤液 (pH=7.45, kg)	c: 水 (pH=7.45, kg)
1	58%	0.4	0.4	0
2	70%	0.381	0.381	0.381
3	85%	0.855	0.855	0.855
4	液面以下	2.5	2.5	2.5

表 3 渗滤液指标检测

Tab.3 Chemical properties of leachate

检测项目	COD	BOD5	TS	SS	NH ₃ -N	NO _x -N
浓度 / (mg·L ⁻¹)	1.19 × 10 ⁴	3.67 × 10 ⁴	1.24 × 10 ⁴	1.30 × 10 ⁴	2.13 × 10 ⁴	1.37 × 10 ⁴

试样、以及只加水试样。具体配比如表 2 所示。

其中,试样 1-a 和 1-b 为通过以砂替换垃圾样中无机物组分,模拟含水率 45% 条件下,加入液体使含水率增加到 58% 的情况;试样 1-c 为天然含水率条件下垃圾样,只进行垃圾组分的破碎处理,没有改变试样含水率。表 3 为本次试验使用的渗滤液的相关指标检测结果,渗滤液原液 pH=8.1。试验周期为 60 d(其中 3-c 由于设备故障等原因,数据不作参考)。

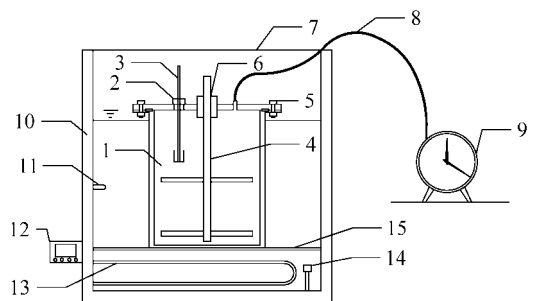
1.2 试验装置

本试验采用 HSC-540 恒温水槽进行温度控制,温度控制精度 ±0.1℃;反应室为不锈钢罐体,反应室直径 200 mm,高 300 mm,容积 9.34 L。由于实验时间较长,考虑到试样含水率在重力作用下出现上下不均匀的情况,为避免不均匀降解的产生,在反应室内加装可上下移动的搅拌装置,并定期进行搅拌,保证试验周期内试样均匀降解。试验装置如图 1 所示。

试验结束后使用 pH-100 型玻璃电极测试仪进行 pH 的测定;气体成分采用 GA5000 便携式气体成分分析仪进行检测。

1.3 温度控制

为了研究填埋场内部温度对垃圾体降解规律的



1. 生物反应室; 2. 取样口; 3. 取样勺; 4. 搅拌器;
5. 锚固螺栓; 6. 搅拌器安装槽; 7. 水槽盖; 8. 导气管;
9. 气体流量计; 10. 双层保温壁; 11. 温度传感器;
12. 温控开关; 13. 加热管; 14. 水位传感器; 15. 开孔垫板

图 1 生物降解反应器

Fig.1 Biodegradation reactor

影响, 试验以无锡桃花山填埋场现场实测填埋体内部温度作为主要控制温度, 结合相关文献研究, 选取 41℃ 典型温度进行试验。将试样按不同配比要求制备后, 放入反应室内, 并对反应室气密性进行检测, 控制温度保持在 $(41 \pm 0.1)^\circ\text{C}$, 监测不同控制条件试样的降解产气规律。

2 试验结果与分析

本次降解试验中, 对试样的产气速率、累计产气量及产气各阶段气体成分进行了测定, 并测定了试验结束后试样试的最终 pH 值。图 2—图 5 中所示数据为干重单位有机质质量对应结果。

2.1 降解产气速率分析

垃圾土在 41℃ 条件下的降解产气速率如图 2 所示, 从图中可以看出, 垃圾的产气速率呈现先上升后下降趋势, 且在不同时间后分别出现第二个产气峰值。各试样到达产气峰值的时间虽不相同, 但均

在 6~10 h 内到达产气峰值, 且原液试样产气峰值 > 渗滤液 (pH=7.45) 试样产气峰值 > 水 (pH=7.45) 试样产气峰值。对此阶段产气的气体成分进行检测分析发现, CO_2 含量在 20%~40% 之间, 说明垃圾试样在试验初始阶段迅速进入好氧降解, 主要表现为 CO_2 浓度升高。第一阶段的降解产气基本在 24 h 后进入调整期。以第二组为例, 2-a、2-b、2-c 出现第一个产气峰值的时间分别为 8、8、8 h, 峰值点的高度分别为 1 778、1 584、1 415 mL/h。经过拐点后产气速率逐渐下降直至停止产气; 在经过一个产气停滞期后, 分别在 424、472、568 h 进入二次产气峰值, 二次产气的峰值分别为 143、127 及 108 mL/h, 可以看出二次产气峰值数值明显均小于第一次产气峰值数值, 结合试验结束后实测三者 pH 值分别为 4.00、3.97、4.32, 表明较低的 pH 值对垃圾土降解产气速率起到抑制作用。

从图 3 试验结果可以看出, 三种含水率控制方法下, 除图 3(c) 中 70% 及 85% 含水率试样外, 第一产气速率峰值均与含水率成正相关关系, 在不考虑其

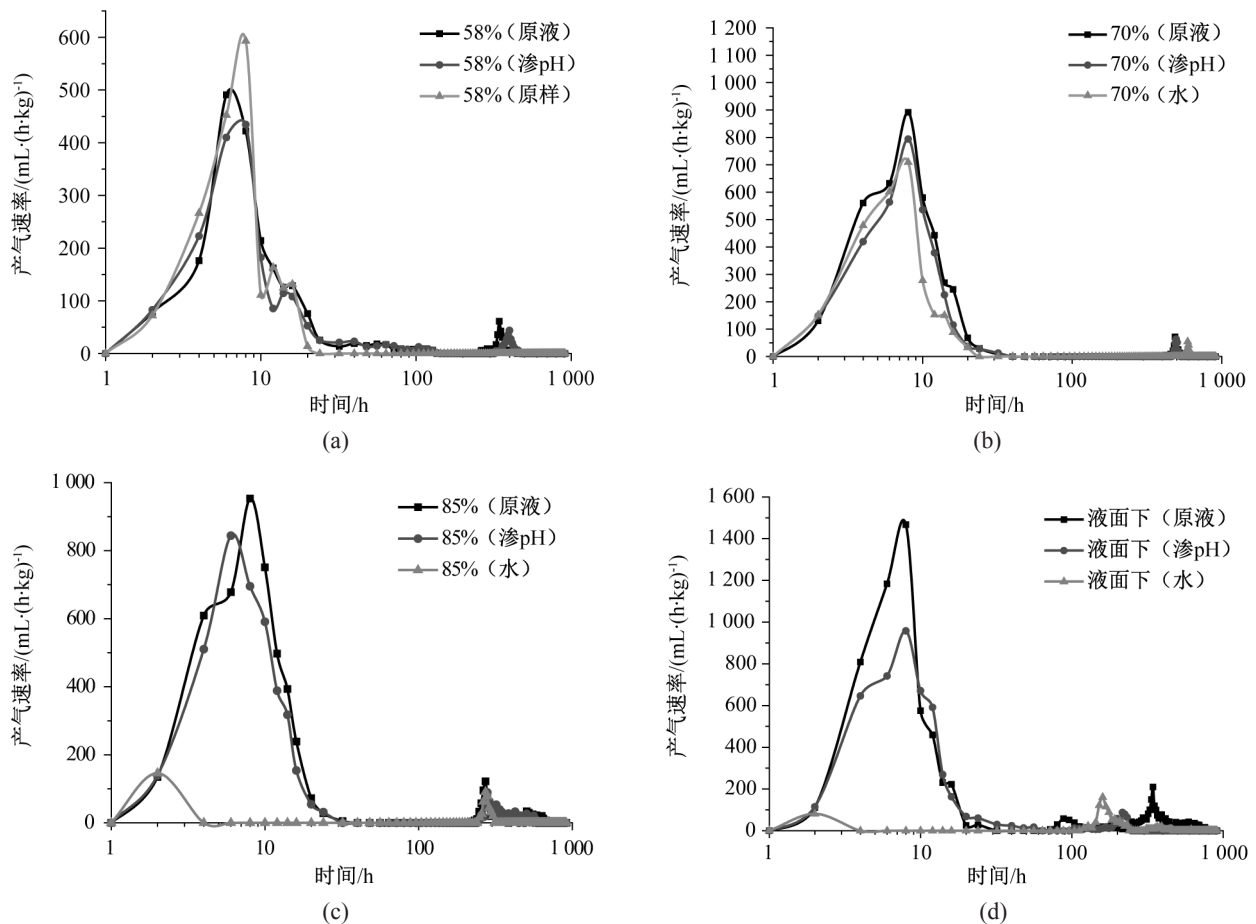


图 2 相同含水率条件下现场垃圾产气速率

Fig.2 Variation of LFG rate under the same moisture content

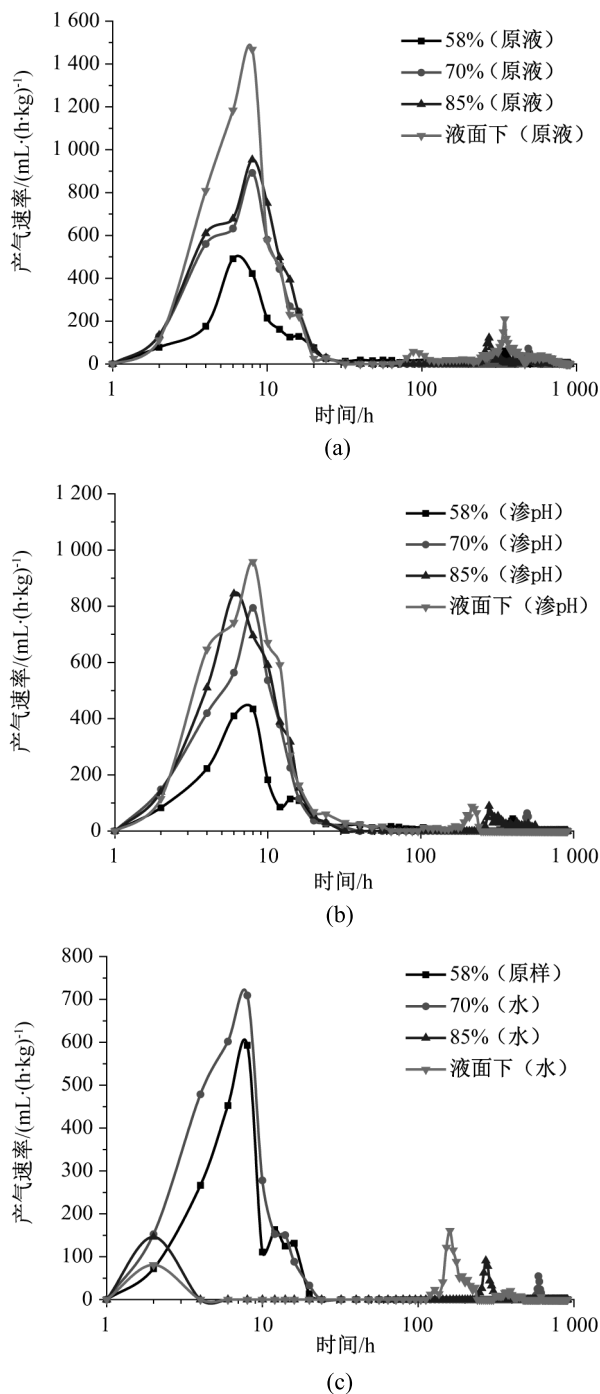


图3 不同含水率、相同含水率控制方法现场垃圾产气速率
Fig.3 Variation of LFG generation rate under different moisture content

中 85% 试验数据情况下,液面下试样由于反应室内上余空气体积较小,可进行好氧反应的氧气量较少,加之较多的清水降低了试样中微生物浓度,因此产气峰值较低。二次产气开始时间表现为随含水率的增高时间逐渐减少,较高的含水率有利于较难降解的可降解物质发生水解并开始降解。同时,根据实测气体成分发现,二次产气中,仅 3-a、3-b、4-a、

4-b 在二次产气后期发生甲烷现象, 二者二次产气开始时间分别为 232、248、72 及 104 h, 峰值点为 272、280、344 及 216 h, 而相应的产甲烷开始时间 (CH_4 浓度大于 5%) 分别为 456、504、576 及 144 h, 可见除试样 4-b 外, 二次产气以 CO_2 为主, 厌氧甲烷菌发挥时间并不与二次峰值的出现时间一致。

2.2 累计产气量分析

图 4 为相同含水率、不同控制条件下各试样累计产气量规律, 由图可见在各相同含水率组别内, 累计产气量规律基本相同, 都为原液试样产气量 > 渗滤液 (pH=7.45) 试样产气量 > 水 (pH=7.45) 试样产气量。含水率为 58%、70% 及 85% 时, 相同含水率组中, 原液试样与渗滤液 (pH=7.45) 试样产气量差值均小于渗滤液 (pH=7.45) 试样与水 (pH=7.45) 试样产气量差值, 以图 4(a) 为例, 1-a、1-b、1-c 累计产气量分别为 7.64、6.97、3.88 L, 差值为 0.97 和 3.09 L, 由此可见, 此时 pH 值对产气量的影响要小于渗滤液中微生物对降解产气的影响; 第四组试样均处于液面以下, 原液试样产气量远大于其余试样产气量: 4-a、4-b、4-c 累计产气量分别为 36.85、13.61、8.38 L, 此时原液试样产气量远大于另两个试样产气量, 分析认为, 液面以下条件时, 液体体积较多, 此时 4-a 较高的初始 pH 值在酸化过程中起到了中和酸性物质的作用, 使酸性物质的累积量减少, 产气量增大。

图 5 为不同含水率、相同含水率控制条件下的累计产气量, 由图可见, 除图 5(b) 中 85% 含水率累计产气量大于液面以下累计产气量外, 其余各试样累计产气量与含水率基本成正相关, 说明相同控制条件下含水率对现场垃圾的降解产气起促进作用。以图 5(a) 为例, 含水率为 58%、70%、85% 的试样及液面以下试样累计产气量分别为 7.64、10.50、17.91 及 363.85 L。图 5(b) 中液面以下试样由于含有大量微生物, 试样初始 pH 值为 7.45, 有利于微生物的生长, 因此前期累计产气量最大; 有机质在降解过程中生成大量 VFA, 微生物最多的试样产生的酸性物质累积量最大, 使其更快的进入酸性环境, 抑制了有机质的降解^[12], 最早停止产气。

3 结论

1) 渗滤液原液对新填埋垃圾降解产气速率及累

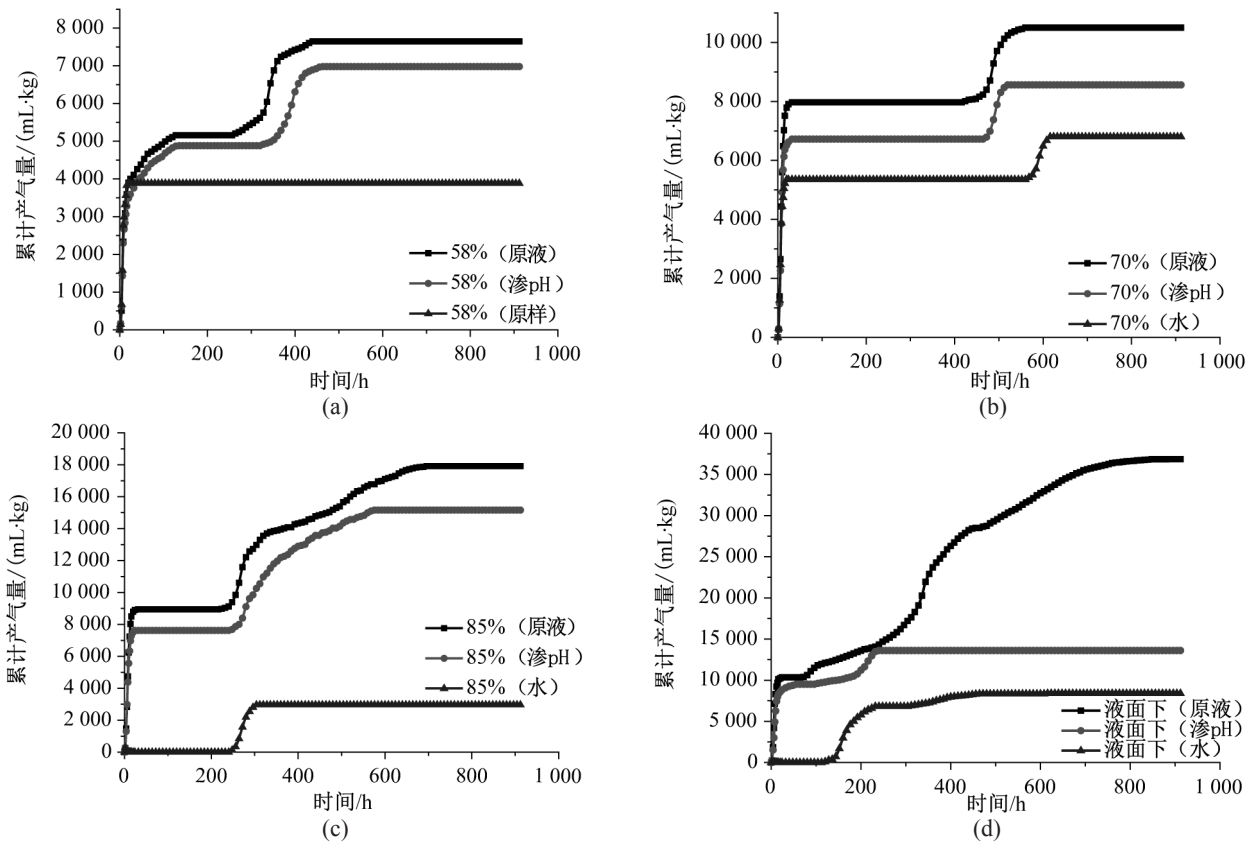


图 4 相同含水率条件下现场垃圾累计产气量

Fig.4 Variation of LFG cumulative volume under the same moisture content

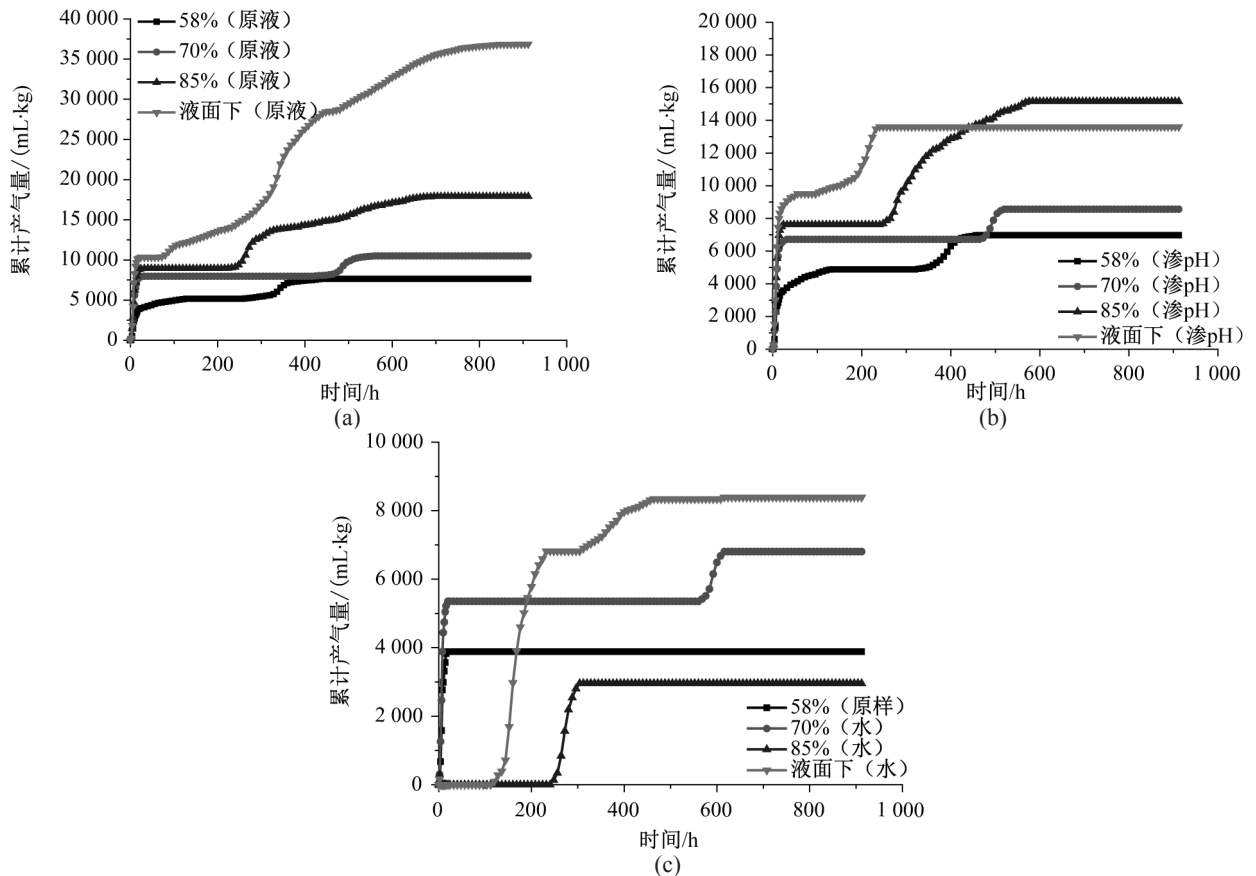


图 5 不同含水率、相同含水率控制方法现场垃圾累计产气量

Fig.5 Variation of LFG cumulative volume under different moisture content

计产气量有明显促进作用,且含水率越高,垃圾土越早进入二次产气阶段。

2) 相同含水率条件下, pH 值对新鲜垃圾降解累计产气量的影响小于渗滤液中微生物的影响。

3) 仅在含水率大于 70% 且含渗滤液的试样中出现产 CH_4 现象, 且二次产气初始阶段的气体主要成分仍以 CO_2 为主, 产 CH_4 出现在二次产气峰值点之后。

参考文献:

- [1] FEI X, ZEKOS D, RASKIN L. Quantification of parameters influencing methane generation due to biodegradation of municipal solid waste in landfills and laboratory experiments[J]. *Waste Management*, 2016, 55: 276-287.
- [2] ABICHOU T, BARLAZ M A, GOLDSMITH D, et al. Leachate Quality Monitoring from Conventional, Retrofit, and Bio-Reactor Landfill Cells[J]. *Journal of Hazardous Toxic & Radioactive Waste*, 2015, 19(4): 04015009.
- [3] 孟理昕. 温度对垃圾土降解的影响特性 [D]. 南京: 河海大学, 2015.
- [4] ZHAO Y R, LIU T J, CHEN X S, et al. The effect of temperature on the biodegradation properties of municipal solid waste.[J]. *Waste Management & Research the Journal of the International Solid Wastes & Public Cleansing Association Iswa*, 2016, 34(3): e34.
- [5] KASALI G B. Optimisation and control of methanogenesis in refuse fractions[J]. *Annalen Der Chemie Und Pharmacie*, 1986, 2014(24): 5139-5143.
- [6] POMMIER S, CHENU D, QUINTARD M, et al. A logistic model for the prediction of the influence of water on the solid waste methanization in landfills[J]. *Biotechnology & Bioengineering*, 2010, 97(3): 473-482.
- [7] 郑亮亮. 垃圾土参数对产气规律的影响及轴对称生物反应器研究 [D]. 南京: 河海大学, 2014
- [8] 罗锋, 陈万志, 李小鹏, 等. 三种垃圾填埋场单元模拟器对废物降解的对比试验 [J]. *中国环境科学*, 2004, 24(4): 474-479.
- [9] SPONZA D T, ADA O N. Impact of leachate recirculation and recirculation volume on stabilization of municipal solid wastes in simulated anaerobic bioreactors[J]. *Process Biochemistry*, 2004, 39(12): 2157-2165.
- [10] 张晓星, 何晶晶, 邵立明, 等. 不同渗滤液循环方式对填埋层甲烷产生的影响 [J]. *环境科学学报*, 2004, 24(2): 304-308.
- [11] XU Hui, ZHAN Liangtong, LI He. Time- and stress-dependent model for predicting moisture retention capacity of high-food-waste-content municipal solid waste: based on experimental evidence[J]. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 2016, 17(7): 525-540.
- [12] 郭汝阳, 陈云敏, 李育超, 等. 考虑 pH 值和挥发性脂肪酸影响的填埋城市固废厌氧降解模型 [J]. *中国环境科学*, 2015, 35(1): 147-156.

(责任编辑 王利君)