

垃圾填埋场温度场数值模拟研究

梁森荣¹⁾, 张澄博^{1,2)}, 张永定^{1,2)}, 叶李胜¹⁾,
覃家琪¹⁾, 娄云雷¹⁾, 张碧龙¹⁾

1) 中山大学地球科学系, 广州, 510275; 2) 广东省地质过程与矿产资源探查重点实验室, 广州, 510275

城市生活卫生垃圾填埋场会对周边环境产生二次环境污染, 影响生态自然和人民生活。填埋场的研究是一个涉及气体场、渗流场、应力场以及温度场等多物理场的问题, 目前国内外学者对于温度场的研究较少, 原因在于垃圾场内的温度从开始变化直至稳定的过程需要数十甚至数百年, 长期性与高成本性给现场监测造成极大的困难。数值模拟作为一种新兴的方法, 可以节约成本, 预测未来, 直观便捷地揭示隐藏于其后的客观规律。本文采用推导的数学模型, 利用 COMSOL 有限元软件进行非线性动力学问题的求解, 旨在为以后的研究提供有意义的指导。

1 数学模型

热量伴随填埋气体 (CH₄、CO₂等温室气体为主) 而生, 并随着气体和渗滤液的传输而发生传递, 温度场的分布变化过程实质上是一个温度场与介质运移场的耦合现象。

建立模型时设定如下假设: ①垃圾土视为各向同性均质材料; ②考虑到气体的运移速率比其他相态的要快很多, 模拟时只考虑气体运移的情况; ③填埋气体当作不可压缩的理想气体, 遵循达西定律。

基于傅里叶定律、能量守恒定律及多孔介质的流体动力学原理, 建立如下数学模型

$$\left\{ \begin{aligned} c \frac{\partial T}{\partial t} &= \nabla(\lambda \nabla T) - \frac{c_g \bar{k}}{\mu_g} [\nabla(T \nabla P)] + \Delta H_b R_b \\ \frac{S_G n_e W_m}{\rho R T} \cdot \frac{\partial p}{\partial t} &= \nabla \cdot \left[\frac{\bar{k}}{\mu} (\nabla p + \bar{\rho} g \nabla z) \right] + q \end{aligned} \right.$$

式中 T 是温度 (K), t 是时间 (s), c 是填埋体的热容 (kJ/m³·°C), λ 是垃圾体的热传导系数 (J/ms

·°C), C_g 是气体热容 (kJ/m³·°C), ΔH_b 为有机物分解产生的热量 (J/mol); R_b 为产气速率 (mol/m³·s); S_G 为垃圾土体的饱气率; n_e 为垃圾体的有效孔隙度; W_m 为摩尔质量 (kg/mol); p 为压力 (Pa); R 为理想气体常数 (m³·Pa/(mol·K)); $\bar{k}$ 是导气率张量 (m²); $\bar{\rho}$ 为填埋气体的平均密度 (kg/m³); t 为时间 (day); g 是重力加速度 (m/s²); μ 是气体粘滞系数 Pa·s; Z 为垂向位置 (m); q 为内部热源项, 即气体产生速率 (1/day)。

2 实例分析

以广州某垃圾填埋场为例, 运用上述所建立的数学模型对其进行仿真预测。模型底部长 150m, 填埋高度取平均值 80m, 周边斜坡自然坡度比约 1:2, 上覆覆盖层厚度为 1m, 左侧为邻近地质体。内部初始温度 25°C, 上部边界取 22°C, 其他边界为绝缘边界。

图 1 是填埋场封场 200 年后垃圾内部温度等值线图。可见等值线大致沿水平方向向两边延伸, 在左右两侧边界处略显弯曲, 说明温度在水平方向上基本相等, 变化略小, 这是因左右边界均为对称边界, 而且为绝缘界线所致。自上而下, 温度逐渐增加, 最大温度出现在底部, 约为 311K (38°C) 左右, 表明垃圾场内部温度正慢慢趋向稳定。

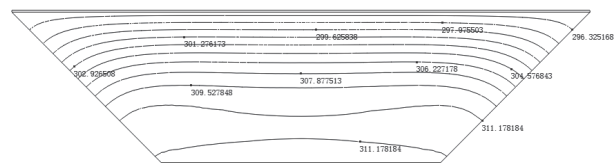


图 1 填埋场封场 200 年后垃圾内部温度等值线图

图 2 是垃圾土内温度随深度在不同时间段内的变化情况。可见温度自表层沿深度的增加会有显著上升, 中部温度区域 (30~60m) 稳定, 往下在接近

注: 广东省科技计划项目 (编号: 2005A30402004) 的成果。

收稿日期: 2013-03-13; 改回日期: 2013-03-31; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 梁森荣, 男, 1987 年生。在读硕士研究生。主要从事地质、环境岩土工程研究。Email: langsr.ok@163.com。

垃圾底部区域达至稳定值 310K (37℃) 左右。这是由于填埋气体会携带一定的热量从垃圾的顶层和底层逃逸,而在中部区域垃圾稳定放热而且气体平稳运移造成的。此外,图中所示同一深度处的温度 10 年后最高,其后依次为 50 年、100 年和 150 年,反映垃圾降解产生的热量逐渐减少,向外界的散失量逐渐增多的一个过程。

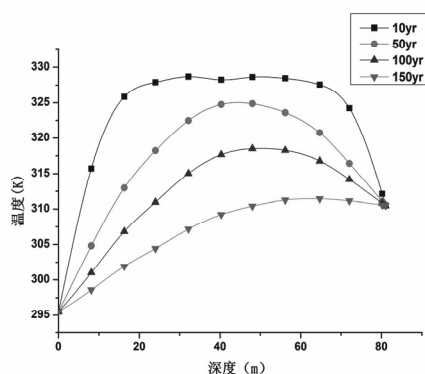


图 2 温度随深度的变化情况

图 3 是垃圾体内不同深度处的温度在封场后 200 年内随时间变化的趋势图。可见一开始温度迅速上升,在封场后 5-7 年内达至峰值温度 322.5K (50℃) 左右,随后的 4-5 年内维持在峰值附近保持稳定,之后缓慢下降,直至稳定,温度下降速率远小于上升速率。温度下降速率随着时间的推移逐渐变小。此外,同一时间-30m、-50m 处的温度比-15m 和-70m 处的高,也再次说明温度中间高、两头低的规律。

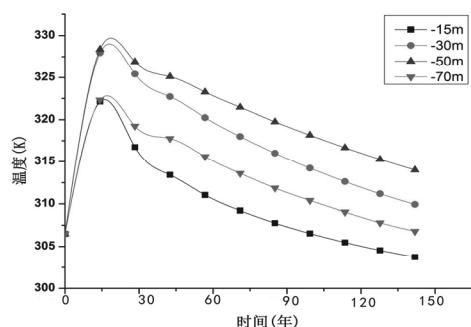


图 3 温度随时间的变化情况

综合上述计算结果,依据 Ree(1980)、Nzali 等(2005)、Yoshida 等(2003)及 Koerner 和 Koernei (2006) 等学者进行的填埋场温度现场实测工作,可知本文所推导的模型模拟的结果与填埋场温度动态变化规律基本吻合。

3 结论与认识

(1) 温度随深度的变化呈现出中间高、两头低的特点。同一深度处的温度 10 年后最高,其后为 50 年、100 年和 150 年,表明垃圾降解放热逐渐衰减。

(2) 垃圾体内部各点随着时间的推移,首先迅猛上升至峰值温度,稳定数年后缓慢下降,直至最终平衡,中部区域温度下降趋势相对顶底部稳定。下降速率小于上升速率,且逐渐减少。

参考文献 / References

- Ree,J.F.Optimization of methane production and refuse decomposition in landfills by temperature control[J].Chem.Tech.Biotechnol.,Society of Chemical Industry,1986,30,458-465.
- Nzali Yesiller,James L.Hanson and Wei-Lien Liu.b.Heat Generation in Municipal Solid Waste Landfills[J].Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,2005,131(11):1330-1344.
- Yoshida,H.and Rowe,R.K.(2003).Consideration of landfill liner temperature[J].Proceedings,Sardinia 2003,Ninth International Waste Management and Landfill Symposium,Christensen,T.H.et al.,eds.,CISA,Italy,2003
- Koerner,G.R. and Koerner,R.M.(2006).Long term temperature monitoring of geomembranes at dry and wet landfills. Geotextiles and Geomembranes,24(1):72-77.