

文章编号: 1000-7598-(2007) 02-0404-05

城市固体垃圾填埋场不均匀沉降分析

张乾飞^{1, 2}, 王艳明², 徐永福¹

(1. 上海交通大学 船舶海洋与建筑工程学院, 上海 200030; 2. 上海市政工程设计研究总院, 上海 200092)

摘 要: 老垃圾填埋场竖向扩建时垃圾堆体的不均匀沉降控制是中间防渗衬垫系统设计的基础, 正确计算和分析垃圾堆体的不均匀沉降将是老填埋场竖向扩建时成功与否的关键。研究了竖向扩建时垃圾不均匀沉降, 并介绍了不均匀沉降的计算方法, 结合工程实例对老填埋场竖向扩建时垃圾不均匀沉降影响进行了分析, 从工程技术角度提出了相应的解决方案。

关 键 词: 城市固体废弃物; 老填埋场; 竖向扩建; 垃圾沉降; 不均匀沉降

中图分类号: TU 47

文献标识码: A

Differential settlement analysis of municipal solid waste landfill

ZHANG Qian-ei^{1,2}, WANG Yan-ming², XU Yong-fu¹

(1. School of Naval Architecture, Ocean and Civil Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

2. Shanghai Municipal Engineering Design Institute, Shanghai 200092, China)

Abstract: Settlement analysis of municipal solid waste (MSW) is one of the hot points and key points in the construction of landfill and in the field of geoenvironmental subjects. The control of differential settlement of MSW is the basis of design of middle liner system in the vertical expansion of existing landfill. It is very important to calculate and analyze the differential settlement of MSW correctly in order to ensure the success of vertical expansion of existing landfill. Aiming to the MSW differential settlement in the landfill of vertical expansion, calculation procedure is introduced firstly; and related application analysis is conducted with an engineering case. Finally, corresponding solving plans to control the differential settlement are presented from viewpoint of engineering technology.

Key words: municipal solid waste (MSW); existing MSW landfill; vertical expansion; MSW settlement, differential settlement

1 前 言

垃圾填埋是我国目前固废处置最主要的措施之一, 具有投资少、运营费用低、处理规模大等优点。20 世纪 80~90 年代, 随着我国社会经济的的发展和城市规模的扩大, 城市生活垃圾也大量增加, 一些经济发达的城市开始建立垃圾集中处置的首批垃圾填埋场(老填埋场)。由于这些老填埋场普遍采用简易填埋方式, 大多运行了十多年, 已接近封场状态, 这些填埋场都在不同程度上存在改建或者扩建等问题, 尤其在一些人口密集的城市, 土地显得更为珍贵, 在原有垃圾场的基础上进行竖向扩建(堆高填埋)无疑对节约土地资源具有重要意义。

老填埋场竖向扩建时, 由于二期工程的建设是在一期工程的基础上进行, 其垃圾沉降问题较普通填埋场沉降更为复杂^[1]。不均匀沉降是填埋场设计中比较重要的一个问题, 老填埋场扩建更是如此。尤其是原垃圾堆体在新垃圾堆体荷载作用下, 由于垃圾填埋高度不一致、垃圾填埋成分的差异引起的不均匀沉降等问题, 在扩建工程中更具特殊性和重要性。不均匀沉降有可能引起底部防渗衬垫系统和收集导排系统产生逆坡, 过大的不均匀沉降还有可能引起衬垫系统和渗沥液收集导排系统的拉伸破坏而失效, 从而造成地下水环境污染或者浮托力过大, 给垃圾堆体的稳定产生不利影响。如何定量评价垃圾不均匀沉降大小, 对老填埋场的竖向扩建具

有重要指导意义。

针对这些问题,本文先介绍了垃圾不均匀沉降的计算方法,结合工程实例对老填埋场竖向扩建时垃圾不均匀沉降影响进行了分析,并从工程技术角度提出了相应的解决方案。

2 不均匀沉降计算方法

垃圾沉降机理比较复杂,计算模型也各有差异,且不利于在实际工程中直接应用。Sowers^[2]通过分析大量的现场垃圾沉降数据,认为垃圾沉降主要包括主固结沉降(固结压缩和瞬时沉降)和长历时的次固结沉降(生物降解沉降^[3]),即

$$\Delta H = \Delta H_c + \Delta H_a \quad (1)$$

式中: ΔH 为垃圾总沉降量; ΔH_c 为主固结沉降量; ΔH_a 为次固结沉降量。

主次固结沉降的计算公式分别为

$$\Delta H_c = C'_c H_0 \lg \frac{\sigma_0 + \Delta \sigma}{\sigma_0} \quad (2)$$

$$\Delta H_a = C'_a H_0 \lg \frac{t_2}{t_1} \quad (3)$$

式中: H_0 为垃圾初始厚度; C'_c 、 C'_a 分别为修正的主、次固结压缩指数; σ_0 为作用于垃圾层中点的上覆压力; $\Delta \sigma$ 为竖向增填时引起的压力增量; t_1 为次固结沉降开始时间,对竖向扩建工程,假设 t_1 等于已填垃圾的年限; t_2 为次固结沉降结束时间,可取 10~20 年。

2.1 相邻沉降点之间的不均匀沉降

填埋场中任意两个相邻沉降点之间的不均匀沉降可用下式计算:

$$\Delta Z_{i,j+1} = Z_{i+1} - Z_i \quad (4)$$

式中: $\Delta Z_{i,j+1}$ 为沉降点 i 和 $i+1$ 之间的不均匀沉降; Z_i 为沉降点 i 的总沉降; Z_{i+1} 为沉降点 $i+1$ 的总沉降。沉降后相邻沉降点之间最终坡度值为

$$\tan \beta_{\text{Fnl}} = \frac{X_{i,j+1} \tan \beta_{\text{Int}} - \Delta Z_{i,j+1}}{X_{i,j+1}} \quad (5)$$

式中: $X_{i,j+1}$ 为沉降点 i 和 $i+1$ 之间的水平距离; $\Delta Z_{i,j+1}$ 为沉降点 i 和 $i+1$ 之间的不均匀沉降; β_{Int} 为沉降点 i 和 $i+1$ 之间的初始坡度; β_{Fnl} 为沉降后点 i 和 $i+1$ 之间的最终坡度。

2.2 衬垫系统和渗淋液收集导排系统的拉伸应变

沉降发生后,衬垫系统和渗淋液收集导排系统的拉伸应变为

$$\varepsilon_{i,j+1} = \frac{(L_{i,j+1})_{\text{Fnl}} - (L_{i,j+1})_{\text{Int}}}{(L_{i,j+1})_{\text{Int}}} \times 100 \% \quad (6)$$

式中: $\varepsilon_{i,j+1}$ 为衬垫系统中点 i 和 $i+1$ 之间的拉伸应变; $(L_{i,j+1})_{\text{Int}}$ 为点 i 和 $i+1$ 之间的初始距离; $(L_{i,j+1})_{\text{Fnl}}$ 为沉降后点 i 和 $i+1$ 之间的最终距离。

沉降前点 i 和 $i+1$ 之间的初始距离为

$$(L_{i,j+1})_{\text{Int}} = [(X_{i,j+1})^2 + (X_{i,j+1} \tan \beta_{\text{Int}})^2]^{1/2} \quad (7)$$

沉降后点 i 和 $i+1$ 之间的最终距离为

$$(L_{i,j+1})_{\text{Fnl}} = [(X_{i,j+1})^2 + (X_{i,j+1} \tan \beta_{\text{Int}} - \Delta Z_{i,j+1})^2]^{1/2} \quad (8)$$

根据制造商提供的各种衬垫系统和收集导排系统材料的最大容许拉伸应变,可对沉降是否引起的防渗衬垫系统和收集导排系统的拉伸破坏做出判断,通常 HDPE 土工膜的屈服伸长率为 12 %^[4],LLDPE 土工膜的多轴拉伸断裂应变为 30 %^[5]。

3 应用

在老填埋场竖向扩建工程中,二期工程将在一期垃圾堆体上建设,一期垃圾堆体的不均匀沉降将对二期工程的建设具有重要影响。下面结合某山谷型填埋场扩建工程,根据垃圾堆体的沉降计算结果,计算了一期垃圾堆体的不均匀沉降,并对其进行了分析。

3.1 工程概况

某垃圾填埋场建成于 1993 年,设计填埋标高为 80 m,填埋场总库容约 470 万 m^3 ,有效填埋量为 420 万 t,初期垃圾填埋量为 500 t/d,以年增长率为 5 % 递增,设计服务年限为 15 年,将于 2008 年使用完毕。至 2005 年初填埋场已经填埋至 60 m 标高,现剩余库容约 150 万 m^3 ,按照现阶段实际填埋规模,填埋场将于 2007 年年底使用完毕。

二期工程的基本建设规划是在一期工程封场基础上构建合适的中间防渗衬垫系统,在填埋场下游加高垃圾坝,改造污水调节池,增大调蓄功能,在一期垃圾堆体上继续进行堆高填埋至 120 m 标高。二期工程有效库容约为 603 万 m^3 ,根据垃圾处置规模论证,扩建工程的服务年限约为 10 年。该填埋场扩建工程的典型断面如图 1 所示。

3.2 垃圾土物理力学性质

该填埋场所填埋的垃圾以居民生活垃圾为主,主要有厨余、果皮、纸类、塑料、玻璃、金属、布类、皮革等,典型组份,见表 1。

根据垃圾填埋顺序、深度和年限,老填埋场垃圾堆体共划分了 15 个垃圾分区,典型计算断面上

各垃圾层的填埋年限和填埋深度如图 2 所示。一期垃圾堆体的重度在 $10.3\sim12.3\text{ kN/m}^3$ 之间,二期垃圾堆体的重度平均取为 10.5 kN/m^3 。

3.3 沉降计算参数

Sowers^[2]在建立沉降计算模型时,所推荐的固结压缩系数的取值范围 $C'_c = 0.17\sim0.36$, $C'_a = 0.03\sim0.1$ 。国内生活垃圾成分特性与国外有一定差异,沉降量相对较大。胡敏云等^[6]对垃圾土压缩变形特性进行了研究,张振营等^[7]采用杭州天子岭填

埋场的垃圾进行室内压缩试验,根据试验结果建立了垃圾土的压缩曲线,通过考虑垃圾土孔隙比变化影响,求得了修正后的主固结压缩指数为 $C'_c = 0.28$,修正后的次固结压缩指数 $C'_a = 0.15$ 。利用文[7]提供的参数 ($C'_c = 0.28$, $C'_a = 0.15$),对该填埋场扩建工程进行沉降试算,发现由此计算得到的沉降值偏大,故对计算参数进行了调整,最后用于沉降计算的修正后的主、次固结压缩指数分别取 $C'_c = 0.20$, $C'_a = 0.10$ 。

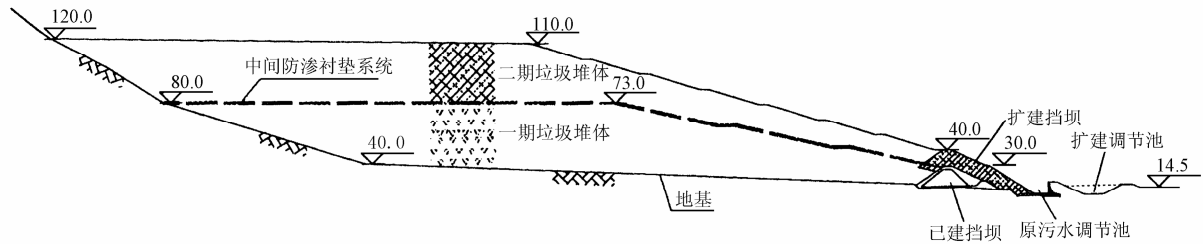


图 1 某填埋场扩建工程典型断面图 (单位: m)
Fig.1 Cross-section of vertical expansion in a certain landfill(unit: m)

表 1 垃圾典型组分
Table 1 Components of municipal solid waste

组分	有机物 (动植物)	无机物 (灰土陶瓷砖瓦)	可回收物							含水率
			纸类	塑料橡胶	纺织物	玻璃	金属	竹木	合计	
含量/%	62.68	7.95	9.80	12.08	3.06	2.04	0.91	1.48	29.37	59.73

注: 动植物属有机物, 灰土陶瓷砖瓦属无机物, 其余均为可回收物。

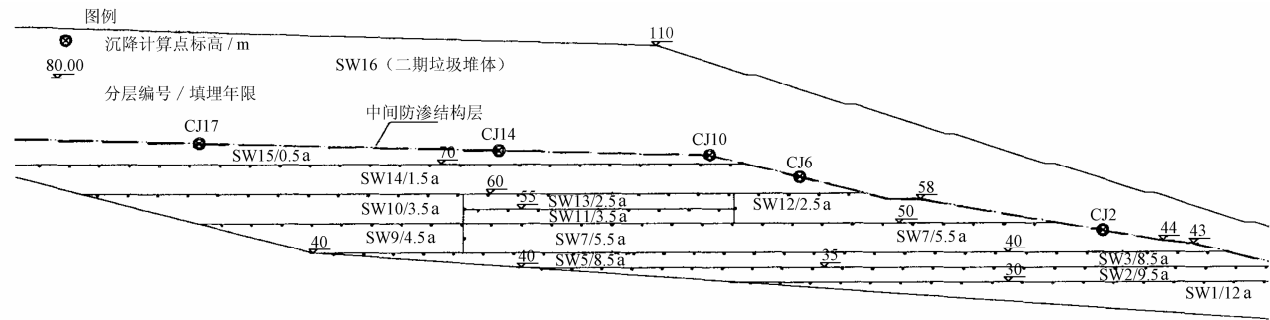
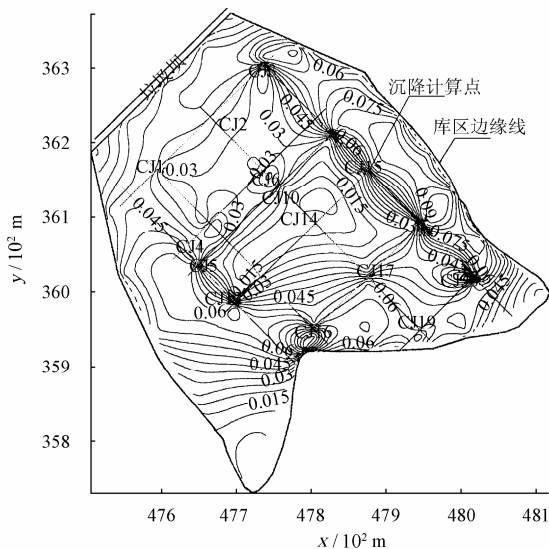


图 2 垃圾分区示意图 (单位: m)
Fig.2 Subzone of MSW in the existing landfill(unit: m)

3.4 不均匀沉降影响分析

根据二期工程填埋发展规划,分别计算了不同使用年限时一期和二期垃圾的沉降,并由此计算了不均匀沉降大小及其分布。因一期垃圾堆体不均匀沉降对二期工程的建设 and 中间防渗衬垫系统具有重要影响,这里主要列出了一期垃圾堆体最终不均匀沉降分布图、典型断面沉降曲线图,分别如图 3 和图 4 所示。由一期垃圾堆体的不均匀沉降分布图 3 可以看出,由于库区中部垃圾沉降量普遍较大,中部不均匀沉降相对较小,仅为 $0.7\%\sim2\%$,而库区

沿山体边缘的沉降量受地形和堆高限制,沉降迅速降低,由此产生较大的不均匀沉降,最大不均匀沉降则发生在库区四周,约在 $6\%\sim9\%$ 。从典型断面沉降曲线图 4 可以看出,沉降发生后靠近山体边缘的坡度在 7% 左右,由式 (6) 计算得到的防渗膜拉伸应变仅为 2.4% ,小于 HDPE 膜的屈服伸长率 12% ^[4],也小于 LLDPE 膜的多轴拉伸断裂应变 30% ^[5],说明防渗膜不会产生拉伸破坏。局部地段坡度虽然有所变化,但并没有形成倒坡,不会影响排水功能。



受山体地形和垃圾堆高的限制, 沉降量迅速减小, 由此引起的不均匀沉降较大。

(3) 为控制垃圾整体不均匀沉降的影响, 在竖向扩建时新垃圾堆体的建基面应构造成“穹隆”状的基底形式; 为控制局部不均匀沉降的影响, 应尽可能采用土工格栅对中间防渗衬垫系统进行加固处理。

(4) 由于垃圾是分层填埋的, 沉降计算时应考虑不同垃圾填埋年限和填埋深度对垃圾压缩沉降特性的影响, 本文有关沉降计算的参数参考类似工程取值, 有待以后通过现场试验获取相关参数后进一步验证。

参考文献

- [1] Xuede Qian, Robert M Koerner, Donald H Gray. Geotechnical Aspects of Landfill Design and Construction [M]. USA: Prentice-Hall, 2001.
- [2] Sowers G F. Settlement of waste disposal fills[A]. **Proceedings of the 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**[C]. Moscow: [s. n.], 1973. 207—210.
- [3] 张振营, 陈云敏. 城市垃圾填埋场有机物降解沉降模型的研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(2): 238—241.
ZHANG Zhen-ying, CHEN Yun-min. Degradation settlement model of organic substance of municipal solid waste landfill[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2004, 25(2): 238—241.
- [4] GRI—GM13, HDPE Membrane Testing Code[S].
- [5] GRI—GM17, LLDPE Membrane Testing Code[S].
- [6] 胡敏云, 陈云敏, 温振统. 城市垃圾填埋场垃圾土压缩变形的研究[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(1): 123—126.
HU Min-yun, CHEN Yun-min, WEN Zhen-tong. Study on the compressibility and deformation of MSW in landfill[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2001, 23(1): 123—126.
- [7] 张振营, 吴世明, 陈云敏. 城市生活垃圾土性参数的室内试验研究[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(1): 35—39.
ZHANG Zhen-ying, WU Shi-ming, CHEN Yun-min. Experimental research on the parameter of life rubbish in city, **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2000, 22(1): 35—39.
- [8] Jang D J, Montero C. Design of liner systems under vertical expansions: an alternative to geogrids[A]. **Proceedings of Geosynthetics**[C]. Canada Vancouver, B.C.: [s. n.], 1993. 1 497—1 510.
- [9] Richard P S, Cetin S, Richard J T, Robert D H. Use of geosynthetics in ‘piggyback landfills’: a case study[J]. **Geotextiles and Geomembranes**, 1996, (14): 341—364.
- [10] 方鹏飞, 朱向荣, 武胜忠. 太原市地面沉降的计算与预测[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(4): 44—46.
FANG Peng-fei, ZHU Xiang-rong, WU Sheng-zhong. Computation and prediction of the land subsidence in Taiyuan[J]. **Coal Geology and Exploration**, 2002, 30(4): 44—46.
- [11] 王银梅. 太原市地面沉降初探[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1997, 8(1): 51—55.
WANG Yin-mei. Preliminary study on the land subsidence in Taiyuan City[J]. **The Chinese Journal of Geological Hazard and Control**, 1997, 8(1): 51—55.
- [12] Meinzer O E. Compressibility and elasticity of artesian aquifers[J]. **Economic Geology**, 1928, 23(3): 263—291.
- [13] Jacob C E. On the flow of water in an elastic artesian aquifer[J]. **Transactions of American Geophysical Union**, 1940, 21(2): 574—586.
- [14] 薛传东, 谈树成, 李峰, 等. 昆明盆地第四系黏性土中的黏土矿物与地面沉降[J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20(4): 437—440.
XUE Chuan-dong, TAN Shu-cheng, LI Feng, et al. Clay minerals in Quaternary clayey soil and its relation to the land subsidence in Kunming basin area[J]. **Acta Petrologica et Mineralogica**, 2001, 20(4): 437—440.
- [15] Riley F S. Analysis of borehole extensometer data from central California[A]. **Land Subsidence: Proceedings of the International Symposium on Land Subsidence**[C]. In: Tison L J ed. Tokyo: International Association of Hydrological Sciences, 1969. 423—431.
- [16] Jorgensen D G Relationships between basic soils-engineering equations and basic ground-water flow equations[A]. In: **US Geological Survey Water Supply Paper 2064**[R]. Washington: US Geological Survey, 1980.

上接第 403 页