

环境土力学研究进展

陈云敏 教育部长江学者特聘教授
Prof. Yun-min Chen

软弱土与环境土工教育部重点实验室
浙江大学

Oct. 26., 2007



内容 (Outline)

- 研究背景
- MSW的压缩性及填埋场的沉降
- MSW的抗剪强度及填埋场的稳定
- MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场
- 土的环境土工特性及填埋场渗滤液扩散
- 结论和建议

Zhejiang University



Oct. 26., 2007 2

工程背景 (Engineering Background)

- 固体废弃物的产量和处置
 - 中国城市生活垃圾的产量
 - 人均日产量1公斤
 - 一年产出总量1.5亿吨
 - 每年以8~10%的速度增长
 - 1/3的城市面临垃圾包围
 - 工业固体废弃物: 约12.0亿吨(危险固体废弃物产生量达995万吨)
 - 城市污水污泥: 400多家城市污水处理厂每年产生上千万吨污泥
 - 疏浚污泥: 杭州西湖已清淤260万m³, 太湖规划清淤2500万m³
 - 高放射性核废料: 到2020年我国每年将产生1000吨核废料

Zhejiang University



Oct. 26., 2007 3

环境土工的发展

- 环境土工(Environmental Geotechnics)—利用岩土工程的原理和技术来改善和解决人类活动和自然环境渐变所带来的环境问题。
- 环境土力学: 研究固体废弃物的压缩,强度和渗透及土体的环境土工性质, 并利用这些性质解决环境土工问题。
- 1987年 ISSMGE成立环境土工专业委员会TC-5
- 1997年 Journal of Geotechnical Engineering, ASCE更名为 Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE
- 国际环境土工大会 (International Congress on Environmental Geotechnics) (Edmonton, Canada (1994); Osaka, Japan (1996); Lisbon, Portugal (1998); Rio de Janeiro, Brazil (2002); Cardiff, UK (2006))

Zhejiang University



Oct. 26., 2007 4

中国垃圾的处置方式 (Disposal of MSW in China)

处理方法	中国	德国	英国	法国	美国
填埋 (%)	90	57	73	70	55
焚烧 (%)	5	13	8	20	14
堆肥 (%)	5	30	19	10	31

- 填埋: 地上垃圾 → 地下垃圾 (污染地下水)
 - 焚烧: 地上垃圾 → 天上垃圾 (污染大气)
- } 污染控制

填埋是城市固体废弃物处置的主要手段



填埋场的发展 (Development of landfill)

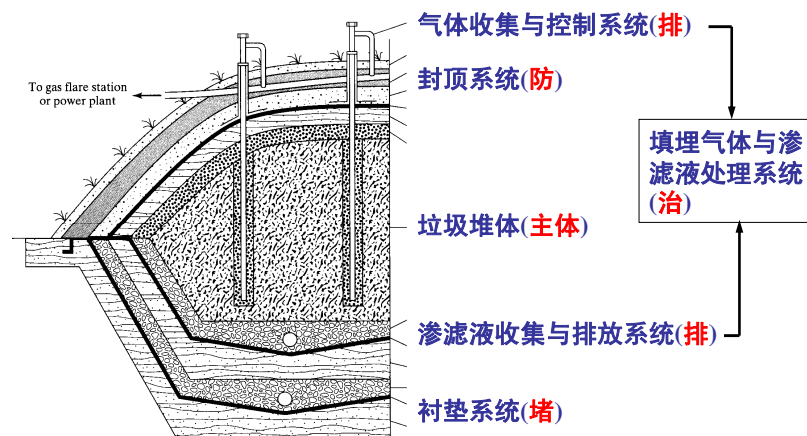
- 垃圾填埋场的发展历史 (欧美)
 - 1960年代以前: 简易填埋
 - 1960年代以后: 卫生填埋
 - 最近几年: 生态型填埋
- 我国从1988年制定和实施《城市生活垃圾卫生填埋技术规范》，后经多次修改，现执行CJJ17-2004 标准
- 我国已建成800多个城市生活垃圾填埋场
- 美国现有1800 (7500) 多个城市生活垃圾填埋场
- 垃圾填埋场是城市化过程中产生的新型土工构筑物，其目的是消纳城市生活垃圾、保护环境

分散 小型 简易 → 集中 大型 卫生 生态



垃圾填埋场的组成 (Components of a landfill)

垃圾填埋场由四个系统组成，分别起防、堵、排、治的功能



杭州天子岭填埋场 (Hangzhou Tianziling Landfill)



填埋场的主要岩土工程问题 (Geotechnical problems in landfill)

- 垃圾堆体失稳（100多例）
 - 美国Kettleman Hills、菲律宾马尼拉、中国重庆等
- 垃圾堆体的变形和沉降
 - 总沉降量为填埋高度的25~50%，影响容量设计，导致管道变形失效
- 填埋气体引起爆炸或火灾（国内20多例）
 - 填埋气体(CH_4 和 CO_2)无组织释放：温室效应，每年相当于遗弃了10亿 m^3 以上的天然气资源
- 垃圾渗滤液渗漏与扩散
 - 国内56个填埋场集中监测结果：仅有7个符合污控标准（国家环保局，2002年）



固体废弃物（MSW）的工程特点

- 组成复杂，有机质含量高
- 有机质发生降解
- 垃圾的工程特性随有机质降解而变化
- 有机质降解产生渗滤液和气体，影响填埋场的变形、稳定、渗流与扩散



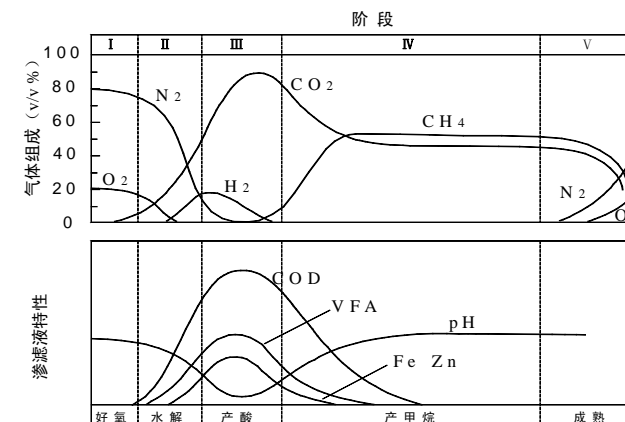
固体废弃物（MSW）的组成

地区	厨房垃圾	塑料	纸类	纤维	胶革 竹木	金属	陶瓷 玻璃	煤灰 渣土
广州	49	3.4	3.1	2.1	2.1	0.7	2.2	38
上海	43	0.4	1.6	0.5	-	0.5	0.4	54
北京	50	0.6	4.2	1.2	-	0.8	0.9	42
香港	28	17	20	6.0	3.0	4.0	4.0	18
美国	22	5	47	-	-	8	9	5
英国	28	2	33	-	-	10	5	19

◆ 我国垃圾组分以厨房垃圾为主；可回收的废品较少；近几年渣土含量下降较快，而废品含量迅速上升。



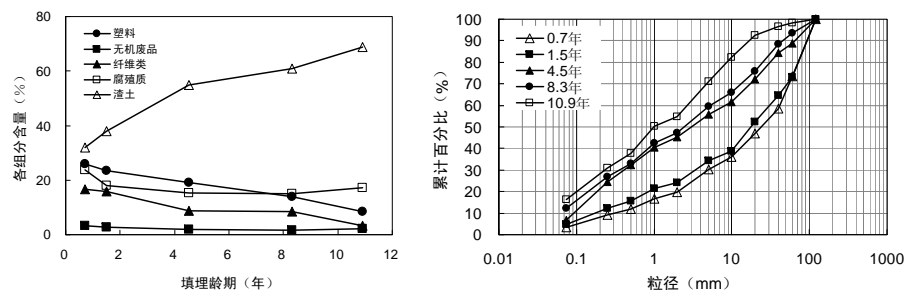
固体废弃物（MSW）的降解



◆ 垃圾降解产气过程分为：
好氧、水解、产酸、产甲烷、稳定化

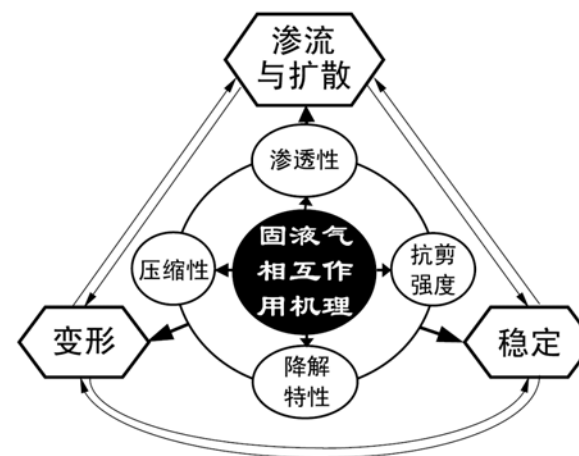


固体废弃物（MSW）的降解



- 随着填埋龄期的增加，垃圾降解程度增大，垃圾中纤维类等大颗粒含量逐渐降低，而渣土等细颗粒含量明显增加。

填埋场的固、液、气共同作用



填埋场的固、液、气共同作用及研究进展

●环境工程界

- 侧重于垃圾中气、液相的产生和运移及其与温度场的耦合作用
- 尚未考虑垃圾骨架的压缩变形对液、气相运移的影响
- 尚未考虑液、气相压力变化对变形和稳定的影响

●岩土工程界

- 侧重于研究固相的变形
- 尚未考虑垃圾降解产气、液、热过程

●发展方向

- 岩土工程界与环境工程界研究成果融合，建立适合于垃圾填埋场的固、液、气相互作用模型

内容（Outline）

- 研究背景
- MSW的压缩性及填埋场的沉降
- MSW的抗剪强度及填埋场的稳定
- MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场
- 土的环境土工特性及填埋场渗滤液扩散
- 结论和建议

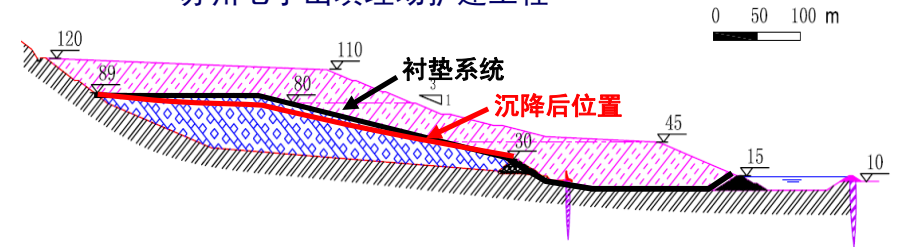
MSW的压缩性及填埋场的沉降

MSW具有很高的压缩性，填埋场在服务期内和封顶后都将产生很大的沉降，其主要影响如下

- 增加填埋场的垃圾容纳量
- 不均匀沉降导致填埋场内的管路变形，使渗滤液收排系统失效
- 封顶后的沉降和不均匀沉降不利于填埋场的后期利用量

MSW的压缩性及填埋场的沉降

苏州七子山填埋场扩建工程

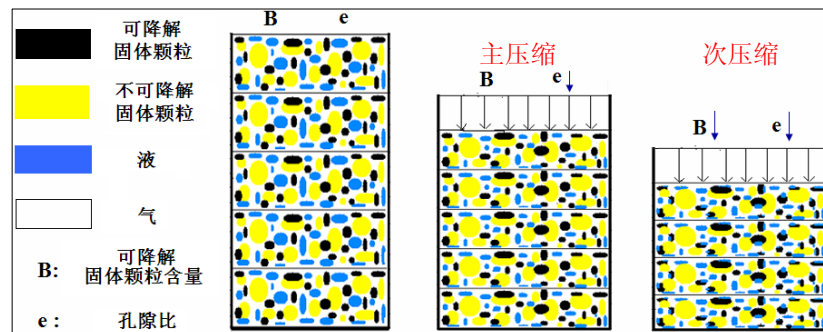


- 填埋场竖向扩建工程中间衬垫系统设计时需要考虑
 - 不均匀沉降引起的张拉应变
 - 坡度改变
- 需要合理估算老填埋场在自重、降解和扩建填埋场荷载作用下的总沉降

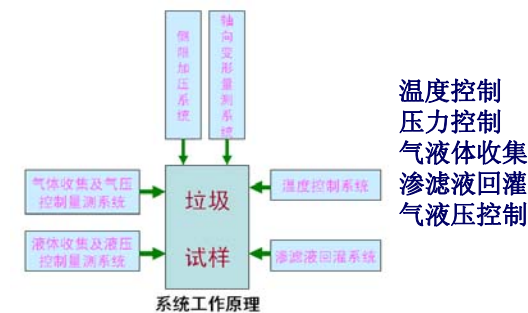
MSW的压缩性及填埋场的沉降

- 由于应力引起的瞬时压缩和固结压缩 $\xrightarrow{\text{短时间}}$ 主压缩

- 蠕变压缩和降解压缩 $\xrightarrow[\text{长时间}]{\text{较难区分}}$ 次压缩

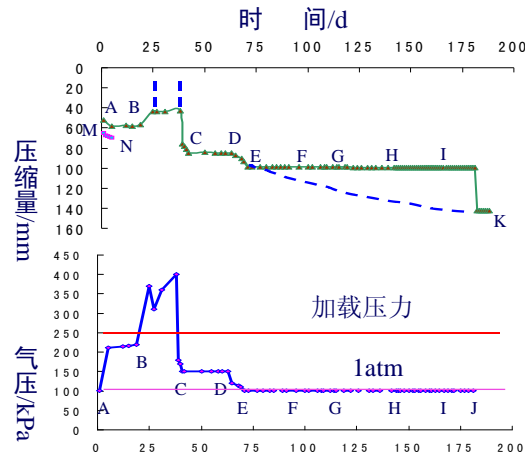


MSW的压缩性及填埋场的沉降



温度控制
压力控制
气液体收集
渗滤液回灌
气液控制

MSW的压缩性及填埋场的沉降



MN为新鲜垃圾变形曲线

- 总变形量**142mm**
- 主压缩量**65mm**
- 蠕变与降解引起压缩量**77mm**

温度是控制降解速率主要因素

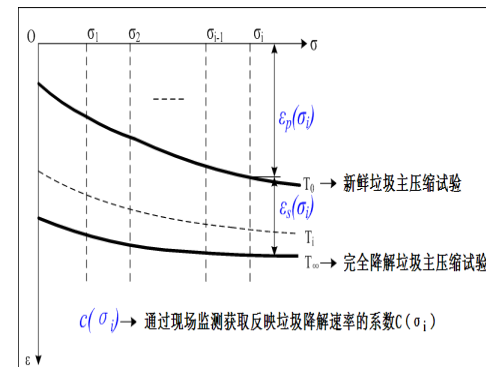
回灌加快降解速率

试验结果及分析

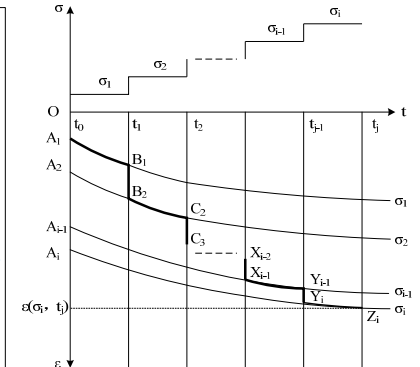


沉降计算模型

$$\varepsilon(\sigma_i, t_j) = \varepsilon_p(\sigma_i) + \varepsilon_s(\sigma_i)(1 - e^{-c(\sigma_i)t_j})$$



沉降计算模型需要确定三个参数



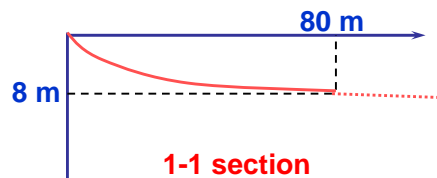
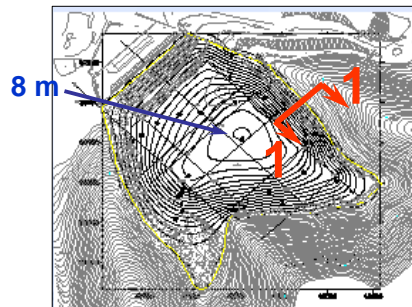
实际填埋过程中某分层垃圾的压缩历史



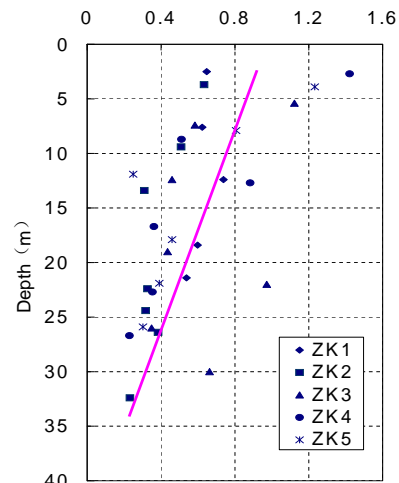
填埋场不均匀沉降下的衬垫受力分析

Stress analysis of liners due to differential settlement of landfill

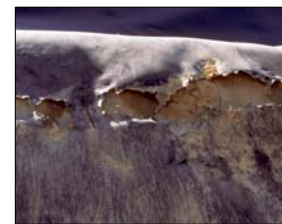
Settlement of old Qizishan landfill



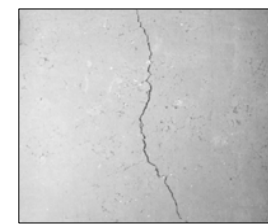
Compression index(C_c)



MSW的压缩性及填埋场的沉降



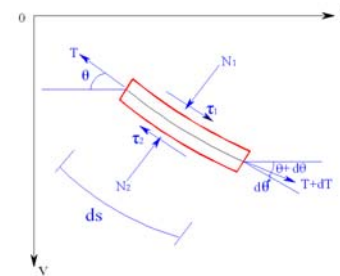
土工膜



压实粘土层

不同材料的容许应变

- HDPE 土工膜: **10%**
- 压实粘土层 (CCL): **1%**



$$\begin{cases} \frac{(T + dT) \cos \theta - T}{ds} = \tau_2 - \tau_1 \\ \frac{(T + dT) \sin \theta}{ds} = N_1 - N_2 \end{cases}$$

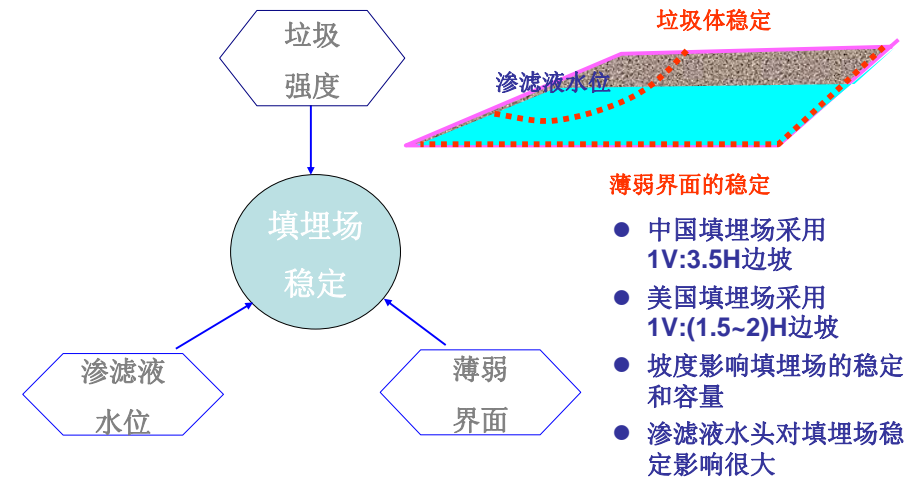


内容 (Outline)

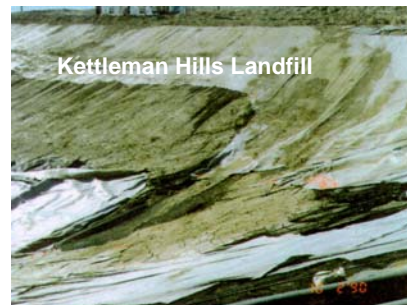
- 研究背景
- 固体废弃物 (MSW) 的特性及填埋场的固、液气共同作用
- MSW的压缩性及填埋场的沉降
- **MSW的抗剪强度及填埋场的稳定**
- MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场
- 土的环境土工特性及填埋场渗滤液扩散
- 结论和建议



MSW的抗剪强度及填埋场的稳定



MSW的抗剪强度及填埋场的稳定

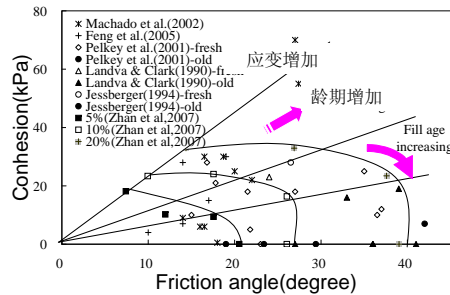
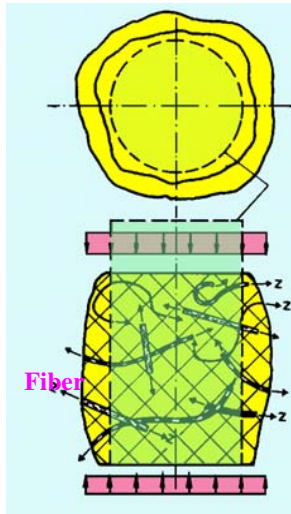


MSW的抗剪强度及填埋场的稳定

- 大尺寸三轴剪切试验人工配制垃圾)



MSW的抗剪强度及填埋场的稳定



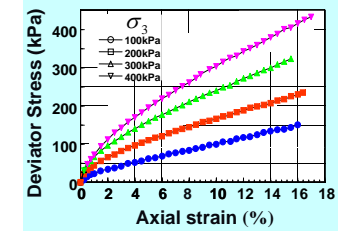
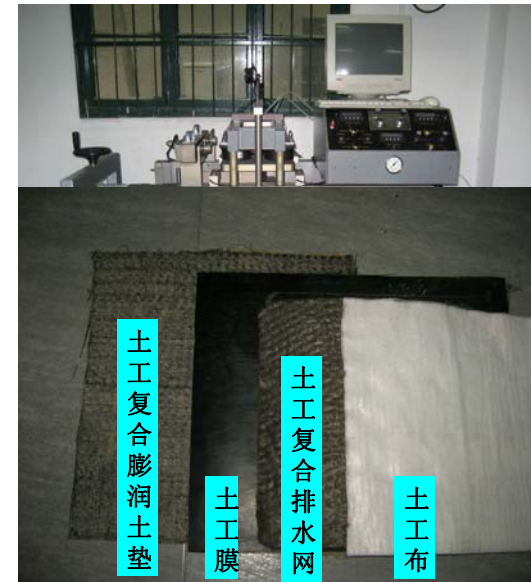
强度参数的总结

- 随应变增加, 发挥摩擦角以及发挥凝聚力都随之增加
- 但随着龄期的增加, 凝聚力呈下降趋势, 而摩擦角随其增加

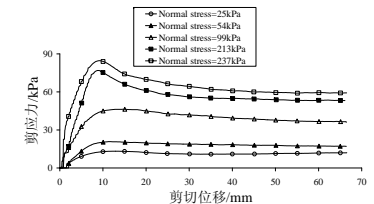


土工合成材料界面特性试验

Interface shear strength between geosynthetics



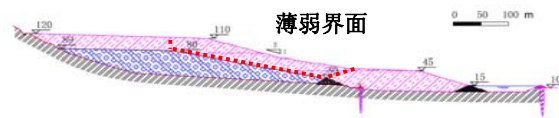
MSW剪切特性



膜/复合排水网剪切特性

MSW的抗剪强度及填埋场的稳定

苏州扩建填埋场沿薄弱界面的稳定分析



Interface	State	Safety factor
GM/GT	干燥	1.247
GM/CCL	干燥	2.141
GM/GCL	干燥	1.585
GM/GCL	水化	1.724(峰值)
GM/GCL	水化	1.126

土工膜/土工复合膨润土垫在填埋场边坡的使用要慎重



内容 (Outline)

- 研究背景
- MSW的压缩性及填埋场的沉降
- MSW的抗剪强度及填埋场的稳定
- MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场
- 土的环境土工特性及填埋场渗滤液扩散
- 结论和建议



MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场

- 填埋场水管理不善：填埋场水头和渗滤液产量过高
 - 导致滑坡事故，引发灾难
 - 环境污染风险高
 - 不利于填埋气收集和利用



MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场

- 填埋气管理不当会导致：

- 爆炸
- 破坏臭氧层
- 影响堆体稳定

然而 ...

填埋气本身是一种很有利
用价值的**能源气体**

组分	百分比
甲烷 (CH ₄)	45 to 58
二氧化碳 (CO ₂)	35 to 45
氮气 (N ₂)	< 1 to 20
氧气 (O ₂)	< 1 to 5
氢气 (H ₂)	< 1 to 5
水蒸汽 (H ₂ O)	1 to 5
其它气体	< 1 to 3

MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场

垃圾中水气形态

- ◆ 现场垃圾中的水可分成颗粒内部水、颗粒间的毛细水和粒间的自由水。
- ◆ 垃圾颗粒内部水与垃圾组分密切相关，厨余果皮中的水是主要来源。
- ◆ 垃圾颗粒间水与垃圾的三相组成有关，与垃圾中的水、气相互作用有关。



(a)

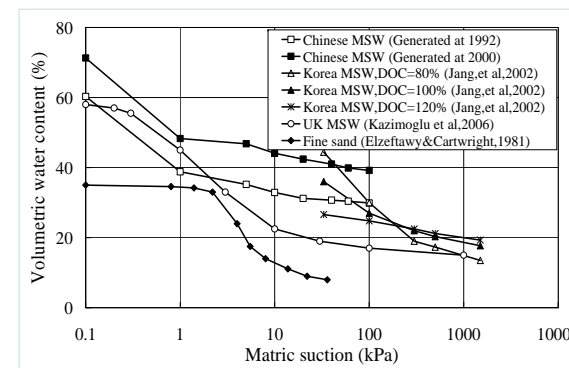


(b)

(a) 垃圾颗粒内部水 (组织内部水)
(b) 垃圾颗粒间水 (吸力引起)

MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场

- 生活垃圾持水能力
 - 田间持水率
 - 与垃圾组分，压实程度，上覆压力，降解程度有关系

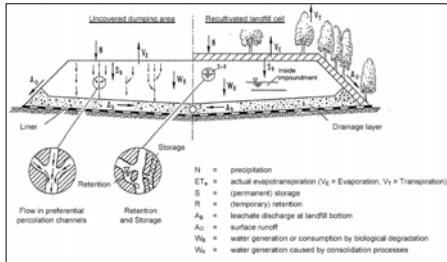


• 垃圾的水力特征曲线表示垃圾中水分的能量和数量的关系，其中吸力由垃圾对水分的吸持作用引起，以自由水为参考标准，包括吸附水作用和毛细管作用。

MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场

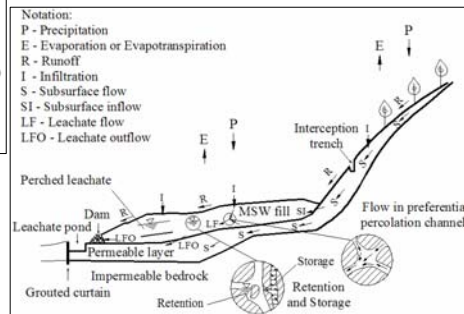
• 填埋场水分平衡

- 主要影响因素有：场区地形、气候条件、渗透系数、场区周边水文地质条件以及覆盖情况



平原型填埋场

山谷型填埋场

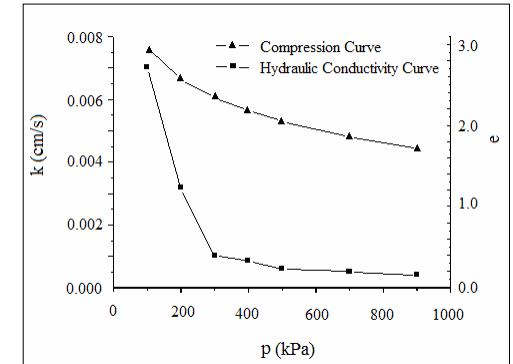


MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场

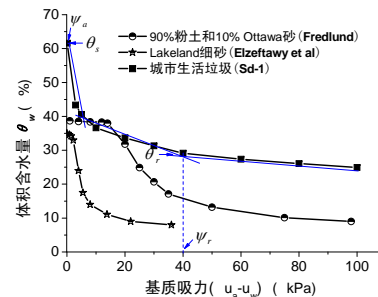
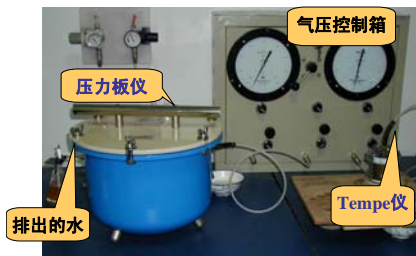
• 生活垃圾渗透系数

- 典型范围: 1.0×10^{-6} to 1.0×10^{-4} m/s
- 随孔隙率减少而明显降低
- 与饱和度高度相关
- 各向异性

中国生活垃圾 k_s 随上覆压力变化规律



MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场

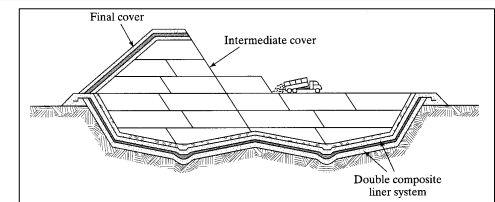
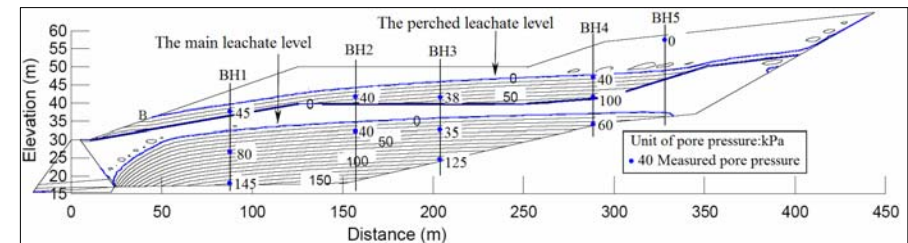


城市生活垃圾的持水曲线

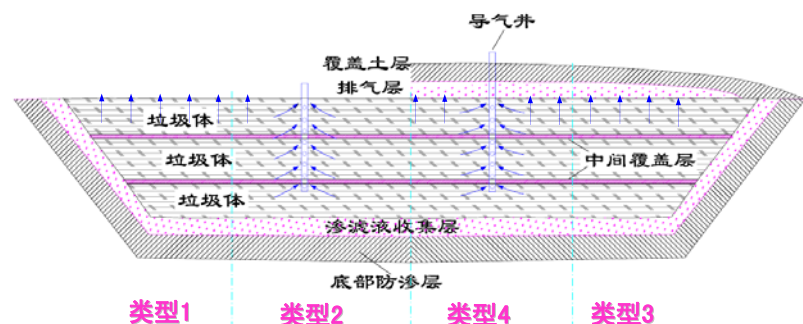
◆垃圾持水性研究：采用压力板仪（5bar）和Tempe仪（1bar高流量）测试干燥过程中垃圾样的持水曲线。为了缩短试验周期，部分试验使用Tempe仪。

MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场

- 导排盲沟淤堵：导致堆体液位偏高
- 中间覆盖层滞水



MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场



垃圾填埋场中气体运移可以分为一维运移和轴对称运移。

MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场

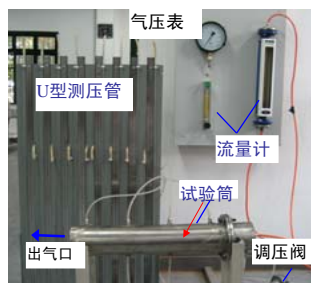
- 生活垃圾气体渗透系数
 - 两种机理: **传导和扩散**
 - 气体渗透系数: 关键设计参数
 - 生活垃圾固有气体渗透系数: $10^{-13} \sim 10^{-10} \text{ m}^2$

垃圾体中的气体运移可以用Darcy定律来描述, 即气体的流速与气体压力梯度成正比:

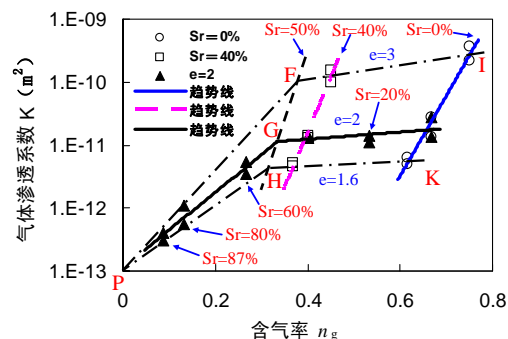
$$v_g = -\frac{k_g}{\rho_g g} \frac{\partial u_g}{\partial z} \quad \text{或} \quad v_g = -k'_g \frac{\partial u_g}{\partial z} \quad k'_g = \frac{k_g}{\rho_g g} \quad K = \frac{k_g \mu_g}{\rho_g g}$$

式中, k_g 为**一般渗透系数** (m s^{-1}); k'_g 为**气体的常用渗透系数** ($\text{m}^2 \text{Pa}^{-1} \text{s}^{-1}$); K 为**固有渗透系数** (m^2); μ_g 为气体粘滞系数 (Pa s)。

MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场



◆**试验方法是:** 垃圾样装好后, 连接气体管道, 调节调压阀对垃圾样施加一定气压, 读取气体流量和U型管中水头, 再由Darcy定律算出垃圾样的气体渗透系数。



垃圾气体渗透系数预测公式

$$\lg K = 0.71e - 12.53 + (0.675e - 0.81) \frac{e(1-S_r)}{1+e} \quad (1.6 \leq e \leq 3, Sr < 50\%)$$

$$\lg K = -13 + (1.96e + 2) \frac{e(1-S_r)}{1+e} \quad (1.6 \leq e \leq 3, Sr \geq 50\%)$$

MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场

- 填埋气体控制
 - 管理不善的填埋气: 缺乏封场覆盖系统, 未设置填埋气利用系统
 - 管理较好的填埋场: 封场规范, 填埋气泄漏较少, 主动收集, 填埋气利用
 - 抽气井设计方法及关键设计参数: 我课题组经研究发现抽气井深度应不小于垃圾堆体厚度的70%, 井间距应为井深的1.5~2.5倍

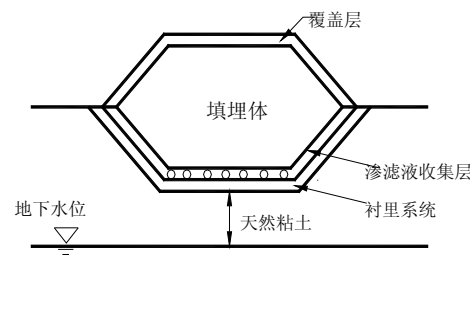


内容 (Outline)

- 研究背景
- MSW的压缩性及填埋场的沉降
- MSW的抗剪强度及填埋场的稳定
- MSW的渗流特性及填埋场中的渗流场
- 土的环境土工特性及填埋场渗滤液扩散
- 结论和建议

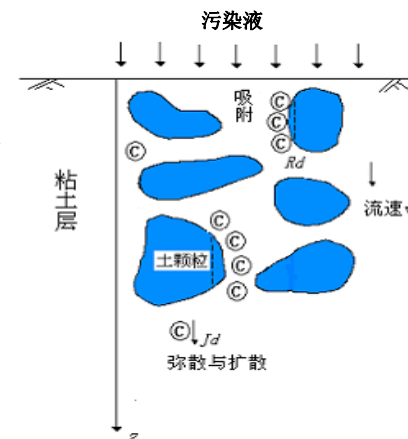


土的环境土工特性及填埋场渗滤液扩散



填埋场结构示意图

- **渗流**: 水头差引起的作用造成的污染物迁移
- **扩散**: 包括孔隙大小不一导致的机械弥散, 及布朗运动引起的分子扩散
- **吸附**: 粘土对污染物的吸持作用



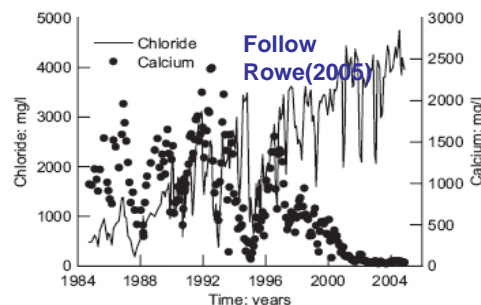
土的环境土工特性及填埋场渗滤液扩散

垃圾渗滤液

- 成分**复杂**, 且随填埋时间变化幅度较大
- 含多种**有机污染物** (甲苯、芳香族化合物、苯胺类化合物等) 以及重金属离子 (汞、镉、铅、铬等)



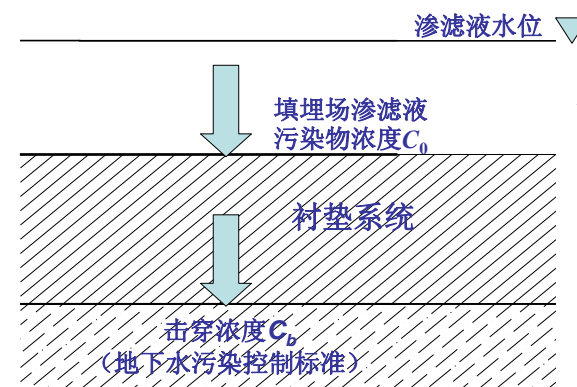
稳定化需20年



渗滤液中Ca²⁺和Cl⁻含量随填埋龄期的变化



衬垫系统控制污染标准 Contaminant control standard of liner system



$$R_d \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{v}{n} \frac{\partial C}{\partial z}$$

孔隙率 n
渗透系数 k
阻滞因子 R_d
扩散系数 D

击穿时间: 污染物通过衬垫系统到达土体污染控制标准所需时间
≥ 填埋场运行时间 + 垃圾稳定化时间 (共约35年)



土的环境土工特性及填埋场渗滤液扩散



污染物的扩散问题研究

- 定常水头
- 定常浓度
- 连续低速搅拌
- 分层切土



主要防渗材料及我国《规范》中的水平防渗系统结构形式

防渗材料

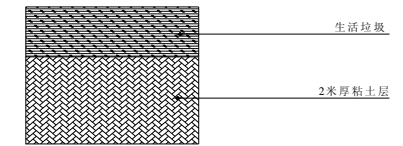
一 压实粘土 (CCL)



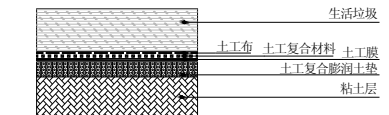
一 土工膜 (GM)



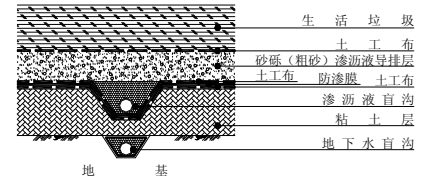
一 土工复合膨润土垫 (GCL)



粘土衬垫系统 (CCL)



土工膜+土工复合膨润土垫 (GM+GCL)



土工膜+压实粘土衬垫 (GM+CCL)

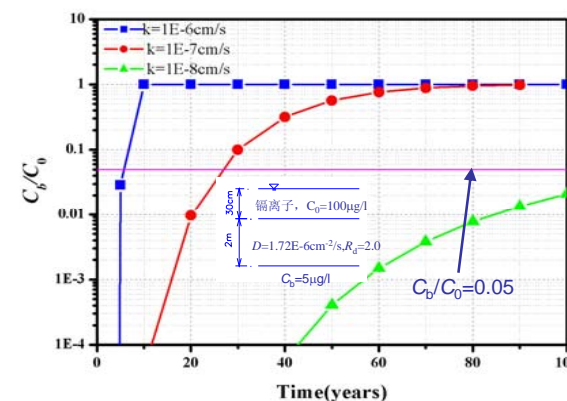


三种防渗材料性能的比较 Comparison of three types of seal material

	HDPE膜(GM)	压实粘土 (CCL)	土工织物膨润土垫(GCL)
渗透性(k)	$1 \times 10^{-14} \text{cm/s}$	$1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$	$1 \times 10^{-9} \text{cm/s}$
扩散性(D)	无机物: $1 \times 10^{-13} \text{cm}^2/\text{s}$ 有机物: $1 \times 10^{-9} \text{cm}^2/\text{s}$	$1 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$	$1 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{s}$
吸附性(R_d)	—	传统CCL: 1~10 有机改良CCL: 可达100以上	传统GCL: 1~10 有机改良GCL: 可达1000以上
厚度	1~3mm	60~200cm	6~10mm
施工	易施工	难施工	易施工
力学性	HDPE屈服应变约10%; 极限应变约500%	不能承担拉应变	GCL拉应变变为10%~20%
耐久性	会老化 耐化学性	不会老化 可能会受到化学物质影响	不会老化 较强的抗干湿、冻融循环能力



粘土衬垫渗透系数的影响 Effect of hydraulic conductivity



- $h=30\text{cm}$ (美国规范限制高度)
- $L=2\text{m}$ (中国规范)
- 镉离子浓度 $C_0=100\mu\text{g/L}$ (Rowe, 1995)
- $C_b=5\mu\text{g/L}$ (美国饮用水标准)

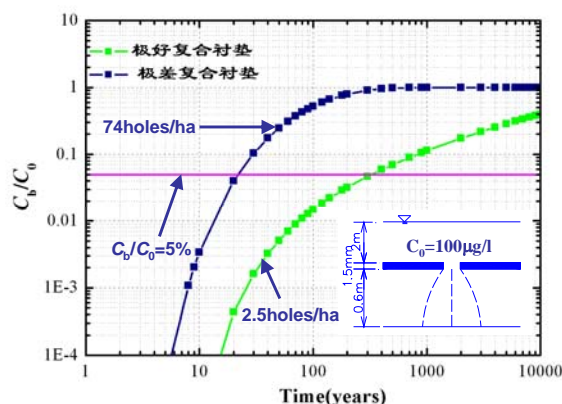
渗透系数 (cm/s)	击穿时间 (years)
1E-6	5.2
1E-7	36.3
1E-8	128

- 渗透系数是影响污染物迁移的重要因素
- 压实粘土施工质量的控制非常重要



土工膜施工质量的影响

Effect of construction quality of geomembrane



- 镉离子浓度 $C_0=100\mu\text{g/L}$ (Rowe, 1995)
- $C_b=5\mu\text{g/L}$ (美国饮用水标准)
- 渗滤液水头 $h=2\text{m}$

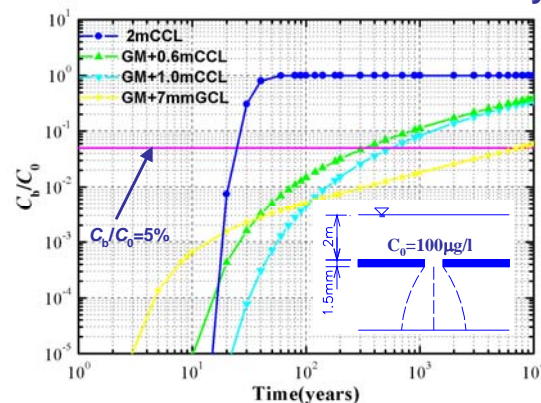
复合衬垫类型	击穿时间 (years)
极好复合衬垫	320
极差复合衬垫	20

土工膜施工质量对重金属离子渗漏的影响非常显著



衬垫系统防重金属离子扩散性能比较

Comparison of ionic contaminant transportation in different liner systems



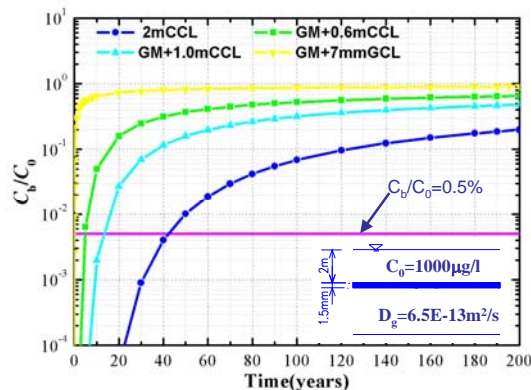
衬垫系统	击穿时间 (years)
1.5mmGM+7mmGCL	7187
1.5mmGM+100cmCCL	605
1.5mmGM+60cmCCL	320
2mCCL	24

- 通过膜漏洞渗漏是重金属离子在复合衬垫中迁移的主要方式
- GM+GCL复合衬垫防镉离子的效果最好
- 2m粘土的效果最差



衬垫系统防有机污染物扩散性能比较

Comparisons of organic contaminant transportation in different liner systems



- 二氯甲烷浓度 $C_0=1000\mu\text{g/L}$ (Rowe, 1995)
- $C_b=5\mu\text{g/L}$ (美国饮用水标准)

衬垫系统	击穿时间 (years)
2mCCL	42.5
1.5mmGM+1mCCL	13.4
1.5mmGM+0.6mCCL	4.7
1.5mmGM+7mmGCL	0.02

- 非亲水性有机污染物通过土工膜的扩散系数较大
- 扩散引起的有机污染量比通过膜缺陷引起的量大好几个量级
- 2m粘土的效果最好；GCL复合衬垫的效果最差



参考文献

- 陈云敏、冯世进等 (2006) 城市固体废弃物的动力特性及参数确定, 土木工程学报, 孔宪京、唐晓武, Vol.39, No.5, pp90~95
- 陈云敏、谢焰、詹良通 (2006) 城市生活垃圾填埋场固液气耦合一维固结模型, 岩土工程学报, Vol.28, No.2, 2006.2, pp184~190
- Chen, Y.M., Ke, H. and Zhan, L.T. (2005) - Experimental Study on Engineering Properties of Municipal Solid Waste in China. *Proceeding of 2nd Germany conference on Geoenvironmental Engineering*, pp 116-127.
- 陈云敏, 柯瀚. 城市固体废弃物的压缩性及填埋场容量分析, 环境科学学报, 2003,23 (5): 694-698
- Ke Han, Chen Yun-min (2001) Stability and Permanent Displacements Analysis of Wasteland during Earthquakes, *ACTA Seismologica Sinica*, 14 (2): 216-224



- 陈云敏, 柯瀚等。(2001) 城市垃圾填埋场地震稳定分析及永久位移计算, 地震学报, 23 (2): 204-212
- 陈云敏, 柯瀚等。城市垃圾填埋体的动力特性及地震响应, 土木工程学报, 2002, 35 (3): 66-72
- El-Fadel, M., Findikakis, A.N. and Lechie, J.O. (1997) - Environmental impacts of solid waste landfilling. *Journal of Environmental Management*, Vol: 50, pp 1-25.
- 冯世进、陈云敏等(2005) 城市固体废弃物动力特性试验研究, 岩土工程学报, Vol.27, No.7, pp:750~754
- Ke, H. and Chen, Y.M. (2008) - Estimation of Maximum Liquid Head over Multilayered Landfill Barriers (*Journal of Environmental Engineering*, in press)



- 陈云敏、柯瀚(2005) 城市生活垃圾的工程特性及填埋场的岩土工程问题(第十四届结构工程学术会议特邀报告), 工程力学, Vol.22, pp:119~126
- 陈云敏、叶肖伟等(2005) 多场耦合作用下重金属离子在粘土中的迁移性状试验研究, 岩土工程学报, Vol.27, No.12, pp1371~1375
- Rowe, R.K. (2005) - Long-term performance of contaminant barrier systems. *Geotechnique*, Vol: 55, No.9., pp 631~678.
- Wei, H.Y., Zhan, L.T. and Chen, Y.M. (2007) - Experimental study on gas permeability of municipal solid waste. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, Vol: 26, No.7., pp 1408-1415.
- 谢焰、陈云敏等(2005) 考虑气固耦合填埋场沉降数学模型, 岩石力学与工程学报, 2005.1, Vol.24, No.1,
- Zhan, L.T., Chen, Y.M. and Ling, W.A. (2007) - Shear Strength Characterization of Municipal Solid Waste at the Suzhou Landfill, China. (Submitted to *Engineering Geology*).



结论 (Conclusions)

1. 中国城市化的快速发展, 带来城市固体废弃物产量急剧增加, 填埋法是一种处理城市生活垃圾的有效方法, 几乎所有城市均在建设垃圾填埋场。
2. 固体废弃物的工程性质与传统的土相比, 由于存在降解, 其性质随时间而变化。固体废弃物的压缩由应力和降解引起, 降解引起的压缩量往往比应力引起的压缩量大。抗剪强度由于纤维效应, 具有应变硬化性质, 而且随填埋龄期而变; 导水性和导气性随上覆压力及填埋龄期而变化, 气体渗透系数与孔隙比及饱和度密切相关。
3. 固体废弃物固、液、气之间存在强烈的相互作用, 固体骨架变形对水气运移影响及固体沉降对变形和气体运移的影响是一个非常重要的问题, 值得进一步研究。
4. 利用固体废弃物的工程性质及土的环境土工特性, 解决垃圾填埋场沉降、稳定和渗滤液及气体的收集, 以及渗滤液污染物扩散问题, 形成合理的设计方法和施工技术是今后环境土工研究的重要目标。



Thank you for your attention !



Welcome to Hangzhou

