

掺纤维砂土强度特性室内试验研究

李玉萍, 施建勇

(河海大学岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 南京 210098)

摘要: 本文通过配比标准砂和纤维进行了大量的室内常规三轴试验,从纤维的长度、含量以及应变和孔隙比4个方面来分析研究掺纤维砂土中纤维状成分对于砂土强度和变形的影响。试验研究表明:掺纤维砂土中纤维的长度对于砂土强度指标的影响非常大,它可以很明显的提高砂土的黏聚力,而对砂土内摩擦角影响不大;掺纤维砂土的应力应变关系为加工硬化型,随着应变的增加,黏聚力和摩擦角也逐渐增加,黏聚力的增长趋势明显快于摩擦角的增长趋势;掺纤维砂土的孔隙比越小,其强度指标越高。

关键词: 掺纤维砂土; 纤维; 黏聚力; 摩擦角

作者简介: 李玉萍(1985—),女,江苏高淳人,河海大学硕士研究生,从事环境岩土研究。

0 前言

改革开放以来,随着经济发展和都市规模的扩大,我国城市固体废弃物(MSW)的产出量逐年增加,1995年统计全国工业固体废弃物产出6.5亿吨(不含乡镇企业),历年累计堆存量已达66.41亿吨,占地55 085公顷,并以每年8%~10%的速度递增。全国城市垃圾产出量已达1.0亿吨/天以上,人均日产量超过1 kg^[1]。与此同时,废弃物中纤维状成分(如塑料、橡胶、布及树枝草木等)含量越来越高。本文统计了国内外一些典型的垃圾填埋场中纤维的含量。

从表1、表2的统计数据可以看出,随着经济的发展,垃圾填埋场中纤维状成分(如塑料、橡胶、布及树枝等)的含量越来越高,尤其是近20年来,塑料制品的普遍使用,使得生活垃圾中的纤维状成分含量迅速增加,纤维状成分的加筋效应也越

来越明显,尤其在垃圾体发生大变形的条件下,会产生附加的黏聚力。Kockel^[2]使用类似“加筋土”的概念及复合材料模型,来解释垃圾的这种强度特性。传统测出的废弃物抗剪强度参数值偏于保守,没有考虑到废弃物中纤维状成分的加筋作用。

目前,卫生填埋场常用坡比通常为1:4,而设计人员计算得到的稳定坡比常常大于1:4,主要原因在于对城市固体废弃物的强度性质认识不足,固体废弃物的强度没有得到充分的利用,影响填埋场库容的利用。

表1 国内各城市垃圾填埋场纤维状成分含量百分比(%)^[3~6]

杭州 天子岭	深圳 下坪	上海 老港	无锡 桃花山	香港 Sai Tao Wan
19.4	35.2	33.8	41.84	56.1

表2 城市垃圾填埋场垃圾的组成及纤维状成分含量百分比(%)

地点	时间	厨余	草木	废纸	塑料	橡胶	纤维	灰土 陶瓷	玻璃	金属	其他	纤维状成分 含量合计
北京	1990	24.9	4.1	4.6	5.1		1.8	56.3	3.1	0.1		11.0
	1998	36.2	9.2	17.9	11.4		4.2	7.0	10.7	3.4		24.8
美国	1960	13.8	26.1	34.0	0.4	2.1	2.0	1.5	7.6	12.3	0.2	30.6
	1997	10.1	18.1	38.6	9.9	3.0	3.8	1.5	5.5	7.7	1.8	34.8
	2003	16.4	15.2	26.3	15.4	3.5	5.4	2.2	6.2	7.2	2.2	39.5

近年来,我国国土资源越来越紧张,卫生填埋场所占用的大量土地的再利用问题也提上了日程,许多发达国家已经开始在卫生填埋场上建起了体育馆、工厂等建筑物,作为上覆建筑物的地基的卫生填埋场,其力学性质对于地基基础的设计及应用至关重要。

本文正是从这两点出发,通过掺纤维砂土的室内常规三轴试验来系统地模拟研究垃圾土中纤维状成分对于其强度和变形的影响。再应用到实际工程中来分析废弃物坡度的设置,从而提高填埋场的库容的利用率,同时为填埋场上覆建筑物地基的设计提供可靠的参数依据,以期取得更好的经济与环境效益。

1 试验方案

1.1 试验仪器

三轴试验采用国家电力公司南京电力自动化

设备总厂生产的应变控制式 SJ-1A 型三轴剪应力仪,人工读数。

1.2 试验材料

影响城市固体废弃物抗剪强度特性的因素很多,本文的主要目的是研究废弃物中纤维状成分的含量对废弃物抗剪强度特性的影响,为了突出这一单一影响因素,本文实验试样采用标准砂和编织袋均匀混合来制备,本试验所用标准砂的主要物理指标见表 3、表 4。编织袋的密度为 0.50 g/cm^3 。

1.3 试样制备

严格控制每一个试样的孔隙比一致,把每一个试样分三等份,加入无汽水进行煮沸脱气,煮好后冷却。将冷却好的试样拌匀,使得纤维在试样中随机分布,在对开模上将试样分三层装入击实,控制试样的尺寸为: $d = 39.1 \text{ mm}$, $h = 80 \text{ mm}$ 。

表 3 标准砂物理指标

最大干密度 (g/cm^3)	最小干密度 (g/cm^3)	比重	最大孔隙比	最小孔隙比	相对密实度	干密度 (g/cm^3)	孔隙比	渗透系数 (cm/s)
1.87	1.63	2.64	0.621	0.409	0.5	1.74	0.515	1.43

表 4 颗粒分析结果

颗粒直径(mm)	>2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	0.25~0.075	<0.075
质量百分含量(%)	3.6	15.9	43.3	1.4	35.6	0.1

1.4 试验方法

采用固结排水剪试验方法,控制剪切速率为 0.166 mm/min 。分别考虑掺纤维砂土中纤维的长度、含量对于砂土强度和变形的影响,即加筋效应。同时也考虑了试样孔隙比对于其强度的影响。

试验中纤维长度的选择如表 5 所示。

表 5 纤维的长度分布表

l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_3 (mm)	l_4 (mm)	l_5 (mm)
2~3.9	5~15	15~25	35~45	55~65

试验中纤维的含量如表 6 所示。

表 6 纤维的含量分布表

ω_0 (%)	ω_1 (%)	ω_2 (%)	ω_3 (%)
0	10	20	30

试样的孔隙比见表 7。

表 7 试样的孔隙比分布表

e_1	e_2
0.510	0.601

2 试验结果及分析

2.1 纤维长度的影响

本文进行了 5 组实验,即保持掺纤维砂土的孔隙比和纤维含量不变的条件下研究纤维长度对于掺纤维砂土强度的影响,如表 8 所示,分别在围压为 100 kPa 、 200 kPa 和 400 kPa 下进行常规三轴固结排水剪实验。

表 8 试样配比表

试样	e	$\omega(\%)$	$l(\text{mm})$
1	0.601	10	2~3.9
2	0.601	10	5~15
3	0.601	10	15~25
4	0.601	10	35~45
5	0.601	10	55~65

试验结果如图 1~图 5 所示。

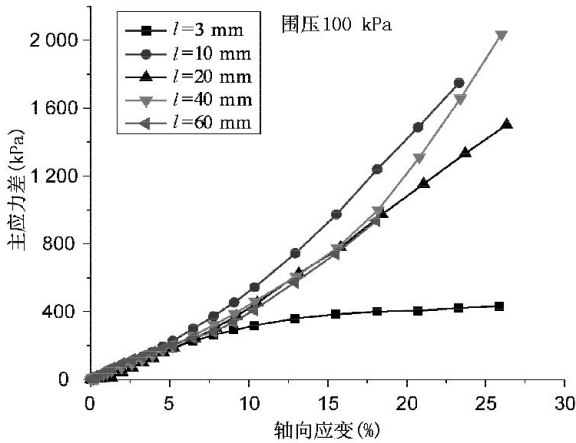


图 1 CD 试验应力-应变关系曲线

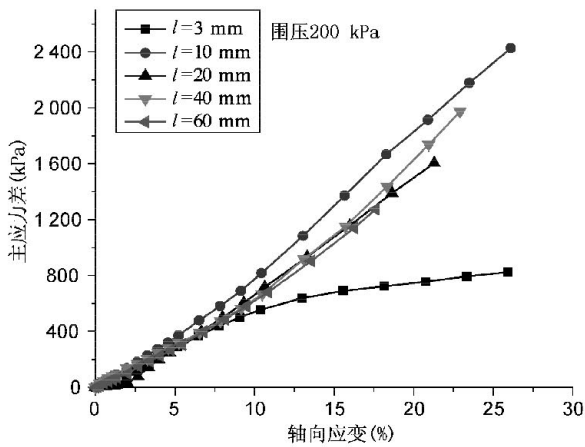


图 2 CD 试验应力-应变关系曲线

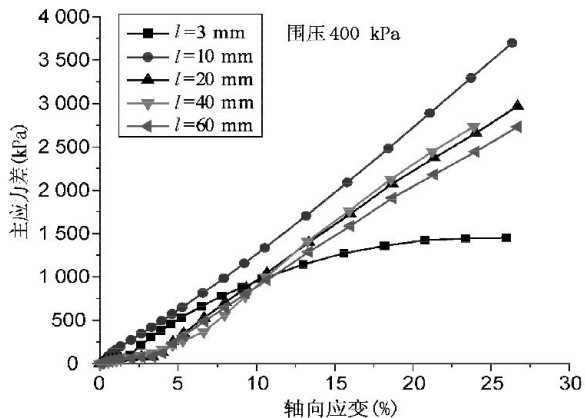


图 3 CD 试验应力-应变关系曲线

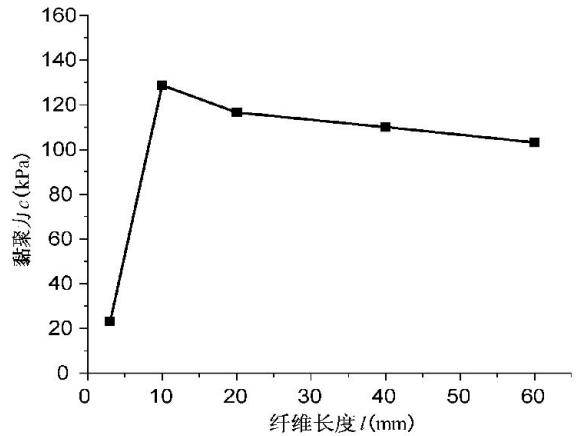


图 4 黏聚力 c 与纤维长度关系曲线

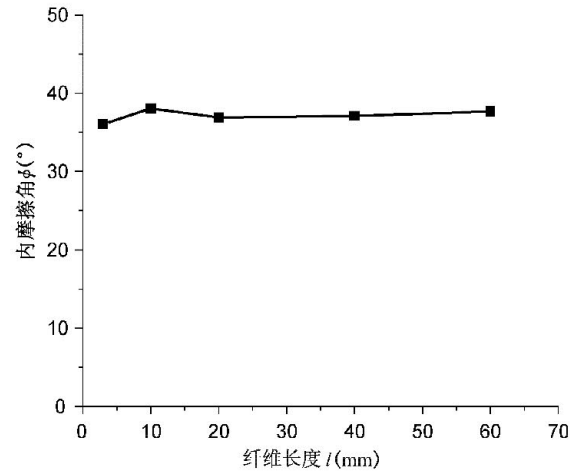


图 5 摩擦角 ϕ 与纤维长度关系曲线

从试验结果可以发现,纤维的长度对于试样强度指标的影响非常明显,按照《土工试验方法标准》所取的纤维长度 l_1 得到的强度指标 $c = 23.11 \text{ kPa}$, $\phi = 36.04^\circ$;而纤维长度取 l_2 时所得强度指标为 $c = 153.67 \text{ kPa}$, $\phi = 36.9^\circ$,对比发现纤维长为 l_2 时的黏聚力是 l_1 时的 6 倍多,而纤维的长度对于试样的内摩擦角影响不大。并不是纤维的长度越长,掺纤维砂土的强度指标就越大。本文选取了纤维的 5 个长度区间进行试验,发现当纤维的长度达到一定数值后,掺纤维砂土的强度不再增长了,基本维持在一个稳定的水平。

2.2 纤维含量的影响

本文进行了 4 组实验,即保持掺纤维砂土的孔隙比和纤维长度不变的条件下研究纤维含量对于掺纤维砂土强度的影响,试样配比如表 9 所示,分别在围压为 100 kPa、200 kPa 和 400 kPa 下进行常规三轴固结排水剪实验。

表 9 试样配比表

试样	e	$l(\text{mm})$	$\omega(\%)$
1	0.601	5~15	0
2	0.601	5~15	10
3	0.601	5~15	20
4	0.601	5~15	30

试验结果如图 6~图 8 所示。

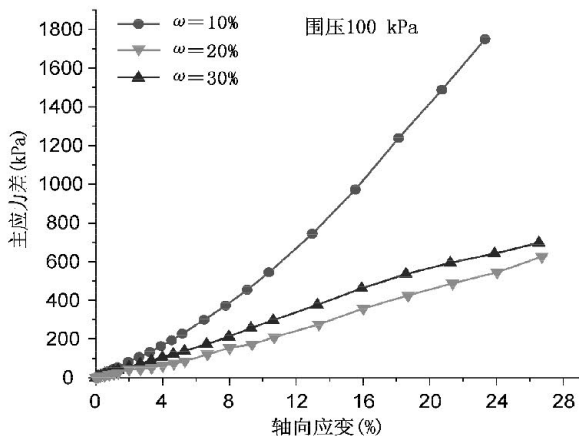


图 6 CD 试验应力-应变关系曲线

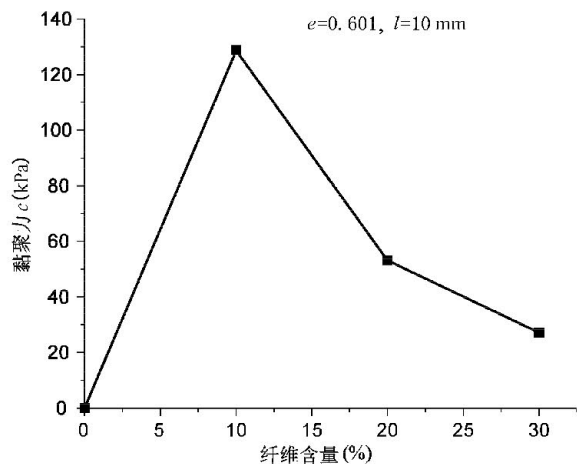


图 7 黏聚力 c 与纤维含量关系曲线

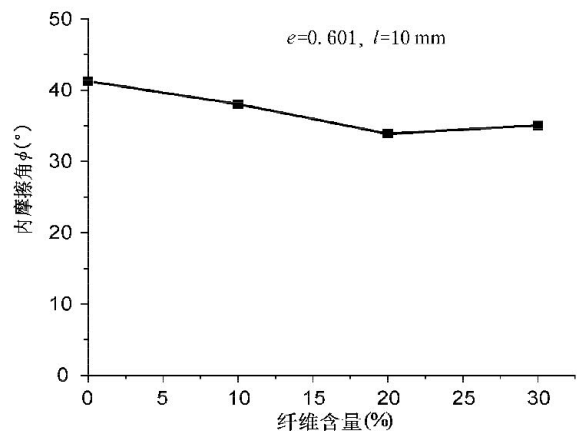


图 8 摩擦角 ϕ 与纤维含量关系曲线

试验得到的掺纤维砂土的抗剪强度由两部分组成,即由标准砂的抗摩擦作用而提供的强度和由编织袋的抗拉伸作用而提供的强度。由图 7 和图 8 可以看出,掺纤维砂土中的纤维含量为掺纤维砂土提供了很大的黏聚力,对于掺纤维砂土的摩擦角影响不太。掺纤维砂土中的纤维含量越高,黏聚力反而有降低的趋势。

2.3 孔隙比的影响

本文共进行了 4 组实验(实验配比见表 10)分别在围压为 100 kPa、200 kPa 和 400 kPa 下进行常规三轴固结排水剪实验。

表 10 试样配比表

试样	e	$l(\text{mm})$	$\omega(\%)$
1	0.510	0	0
2	0.601	0	0
3	0.510	2~3.9	10
4	0.601	2~3.9	10

试验结果如图 9、图 10 所示。

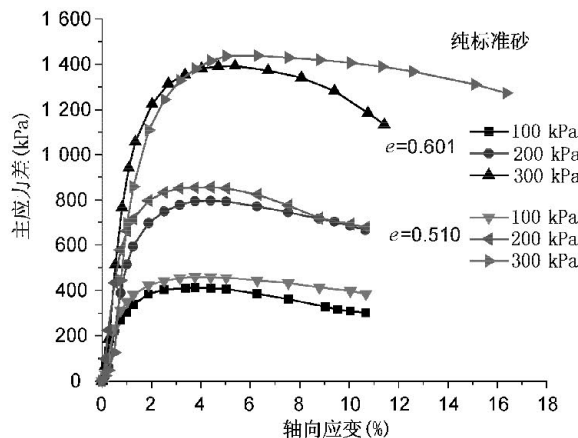


图 9 CD 试验应力-应变关系曲线

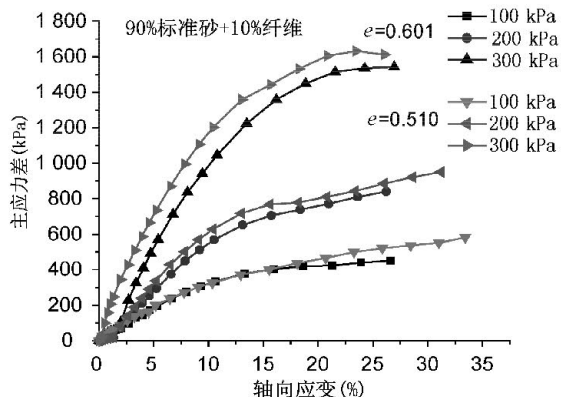


图 10 CD 试验应力-应变关系曲线

表 11 不同孔隙比下的强度指标值

e	黏聚力 c	摩擦角 ϕ
0.510	0	42.38
0.601	0	41.26
0.510	25.32	39.23
0.601	23.11	36.04

表 11 不难发现, 掺纤维砂土的孔隙比越小, 其强度指标越高。因此, 在实际的垃圾填埋场中增加填埋场的压实度, 不但有利于节约填埋空间, 还可以提高填埋场的稳定性。

2.4 取值标准的影响

从本文的 CD 试验发现, 未添加纤维的砂土应变在 3%~5% 之间就出现软化现象, 如图 11 所示。而掺纤维的砂土轴向应变超过 15% 时其主应力差仍然在增长。掺纤维砂土的应力应变关系为加工硬化型。以 $e_2 l_2 \omega_1$ 试样 CD 试验的结果为例, 当轴向应变超过 15% 时, 其主应力差仍然在增长, 如图 12 所示。图 13 和图 14 表明随着应变的增

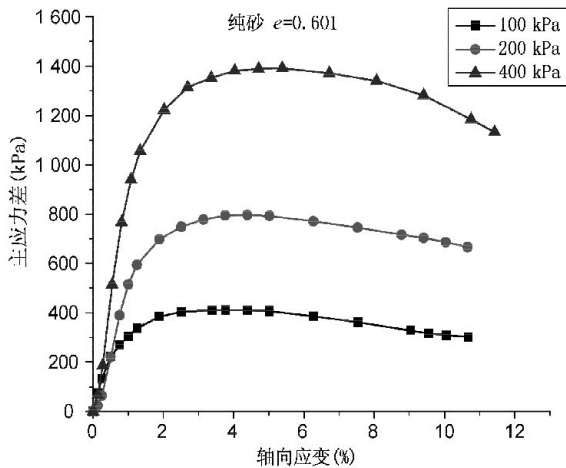


图 11 $e_2 l_2 \omega_0$ 试样 CD 试验应力-应变关系曲线

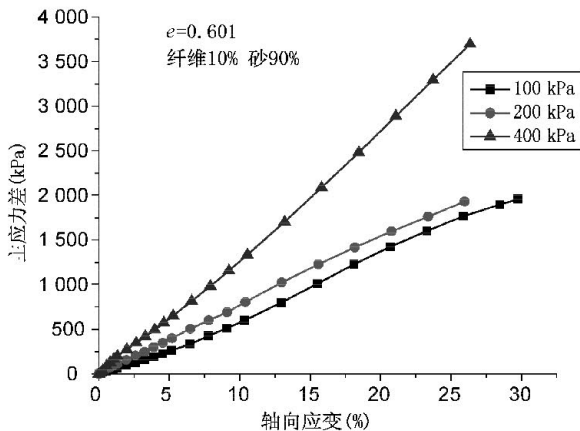


图 12 $e_2 l_2 \omega_1$ 试样 CD 试验应力-应变关系曲线

加, 黏聚力和内摩擦角都逐渐增加, 黏聚力的增长趋势明显快于内摩擦角的增长趋势, 表明随着应变增大剪切面上颗粒之间的摩擦特性已经充分发挥, 而掺纤维砂土中的塑料、橡胶和布等纤维加筋体的拉力在逐渐发挥作用。

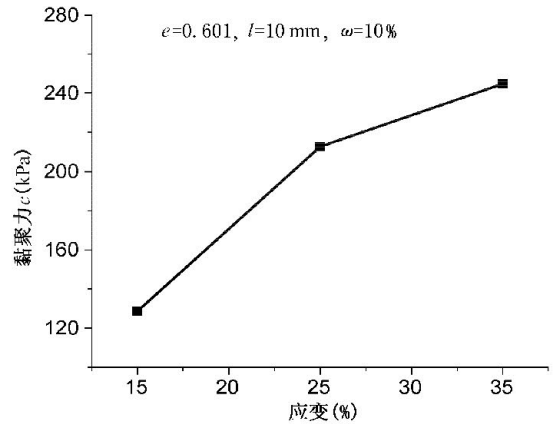


图 13 黏聚力 c 与应变关系曲线

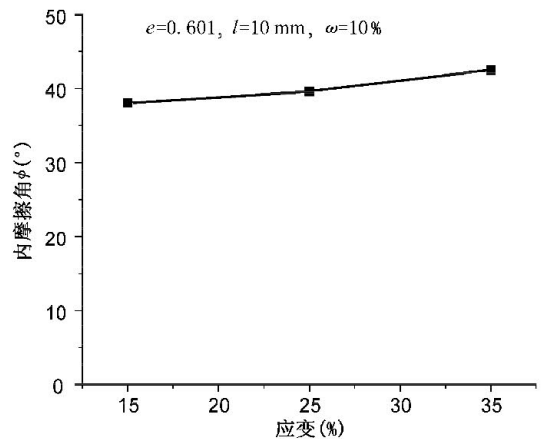


图 14 摩擦角 ϕ 与应变关系曲线

3 结论

(1) 掺纤维砂土中纤维的长度对于砂土强度指标的影响非常大, 它可以很明显的提高掺纤维砂土的黏聚力, 而对掺纤维砂土内摩擦角影响不大。

(2) 由图 4 和图 5 可以看出, 并不是纤维的长度越长, 掺纤维砂土的强度指标就越大。本文选取了纤维的 5 个长度区间进行试验, 发现当纤维的长度达到一定数值后, 掺纤维砂土的强度不再增长了, 基本维持在一个稳定的水平。本文实验得到的纤维最佳长度为《土工试验方法标准》中规

定的试样最大粒径的3倍左右。本文的试验结果可以为掺纤维砂土室内三轴试验中纤维长度的选择提供一定的依据;

(3) 由表11不难发现,掺纤维砂土的孔隙比越小,其强度指标越高。因此,在实际的垃圾填埋场中增加填埋场的压实度,不但有利于节约填埋空间,还可以提高填埋场的稳定性;

(4) 从本文的CD试验发现,未添加纤维的砂土应变在3%~5%之间就出现软化现象,而加纤维的砂土轴向应变超过15%其主应力差仍然在增长。掺纤维砂土的应力应变关系为加工硬化型,随着应变的增加,黏聚力和内摩擦角也逐渐增加,黏聚力的增长趋势明显快于内摩擦角的增长趋势,表明,随着应变增大剪切面上颗粒之间的摩擦特性已经充分发挥,而掺纤维砂土中的塑料、橡胶和布等纤维加筋体的拉力在逐渐发挥作用。

(5) 本文通过掺纤维砂土的室内常规三轴试验来模拟研究垃圾土中纤维状成分对于其强度和变形的影响,为了突出纤维状成分这一单一影响因素,实验试样采用标准砂和编织袋均匀混合来制备。试验结果对于研究垃圾土中纤维状成分对其强度和变形的影响具有很大的指导作用,但是

实验中的试样组成与实际工程中垃圾土的复杂组成成分相比还有一定的差距,有待进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] 钱学德,郭志平,等. 现代卫生填埋场的设计与施工[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [2] Kockel R. Scherfestigkeit von mischabfaellen in hinblickauf die standsicherheit von deponien[R]. Schriftenreihedes Instituts fuer Grundbau, Ruhr Universitaet Bochum, Heft 24,1995.
- [3] 张振营,吴世明,陈云敏. 城市生活垃圾土性能参数的室内试验研究[J]. 岩土工程学报,2000,22(1): 35~39.
- [4] 河海大学岩土工程研究所. 深圳市下坪固体废弃物填埋场防渗结构层及垃圾体力学性能研究报告[R]. 2001.
- [5] 杨玉江,赵由才. 老港生活垃圾填埋场垃圾组成和资源化价值研究[J]. 环境工程学报,2007,1(2): 116~118.
- [6] 刘荣. 城市固体废弃物实验填埋力学参数研究[D]. 南京:河海大学,2003.