

填埋场压实粘土衬垫渗透系数的影响因素综述

黄婉荣¹, 郭志平²

(1.北京市勘察设计研究院, 北京 100038; 2.河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098)

摘要: 压实粘土衬垫是城市固体废弃物填埋场封闭系统的重要组成部分, 设计填埋场压实粘土衬垫的控制条件是它的透水性, 而其渗透系数的现场测试值往往比室内测试值大几个数量级, 综合分析影响了影响压实粘土衬垫渗透系数的因素, 包括土料本身的性质、试验方法和条件以及其它因素, 试图找出产生这种差距的原因。

关键词: 填埋场; 固体废弃物; 压实粘土衬垫; 渗透系数

中图分类号: X705; TU442

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2001)02-0019-04

压实粘土衬垫是城市固体废弃物填埋场封闭系统的重要组成部分, 它主要用来划分填埋单元和拦截废弃物, 覆盖新的填埋废弃物以及封闭老的填埋场, 如图1所示。作为基底衬垫, 压实粘土必须达到一定标准以防止地下水被淋洗液污染, 设计压实粘土衬垫的控制条件就是它的透水性。围绕工程实例中压实粘土衬垫渗透系数现场测试值往往比室内测试值大几个数量级这一现象, 国外学者对压实粘土的渗透系数作了大量室内和现场试验研究^[1-4], 试图找出产生这个现象的原因。

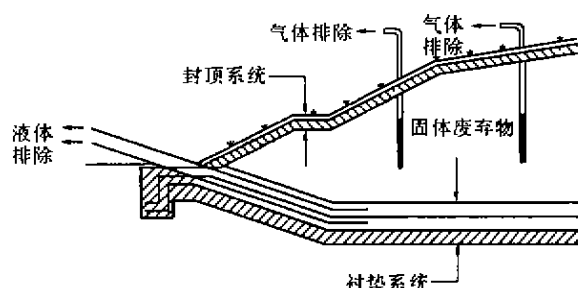


图1 填埋场衬垫系统示意图

根据大量参考文献, 可将影响压实粘土衬垫渗透系数的因素归纳为三大类, 即土料本身的性质, 试验方法和条件, 以及其它因素, 见表1。

表1 影响压实粘土衬垫渗透系数的主要因素

土料本身的性质	试验方法和条件	其它因素
和易性(可塑性)	击实方法和击实能	上覆压力
级配	击实含水量和干密度	衬垫厚度
胀缩性	饱和度	施工质量保证
土团的大小	试样大小	环境影响
结构的影响	水力坡降	
	渗透液的类型	
	试样龄期	

1 土料本身的性质

a. 和易性(可塑性)。塑性低的土易于拌和, 但渗透系数较高; 塑性高的粘土渗透系数低, 但不易于拌和, 拌和压实时需要较高的能量。

b. 级配。细粒含量和塑性指数高的粘土, 渗透系数低, 级配良好的土, 压实后干密度大, 粒间孔隙小, 渗透性小。

c. 胀缩性。用作土质衬垫的高塑性粘土遇水显著膨胀, 失水显著收缩, 过份的无侧限膨胀和收缩都能使衬垫产生裂缝, 增加渗透性。

d. 土团的大小。第一个提出土团大小对渗透性有影响的是丹尼尔(Daniel)^[1], 他对不同土团大小的粘土做渗透试验, 结果见表2。更深入的研究^[3]表明, 土团大小对渗透性的影响在于最优含水量 w_{op} 的标准普氏击实试验中最为显著, 土团越大, 渗透性越大。在湿于 w_{op} 一侧, 由于土团湿软、易压实, 无论多大粒径都能充分压实, 故此时土团大小对渗透性影响不大, 见图2^[3]。

表2 土团大小对压实粘土渗透系数的影响

土团平均粒径		渗透系数
d / mm	d / cm	$k / (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$
3/8	0.952	3×10^{-7}
3/16	0.476	2×10^{-8}
1/16	0.159	9×10^{-9}

e. 结构(fabric)的影响。土的结构说明土中颗粒、团粒及孔隙的分布^[5]。关于水在压实粘土中的流动有两种理论解释, 即颗粒排列理论^[6]和土团理论^[7]。

作者简介: 黄婉荣(1973—), 女, 安徽金寨人, 硕士, 从事环境岩土工程研究。

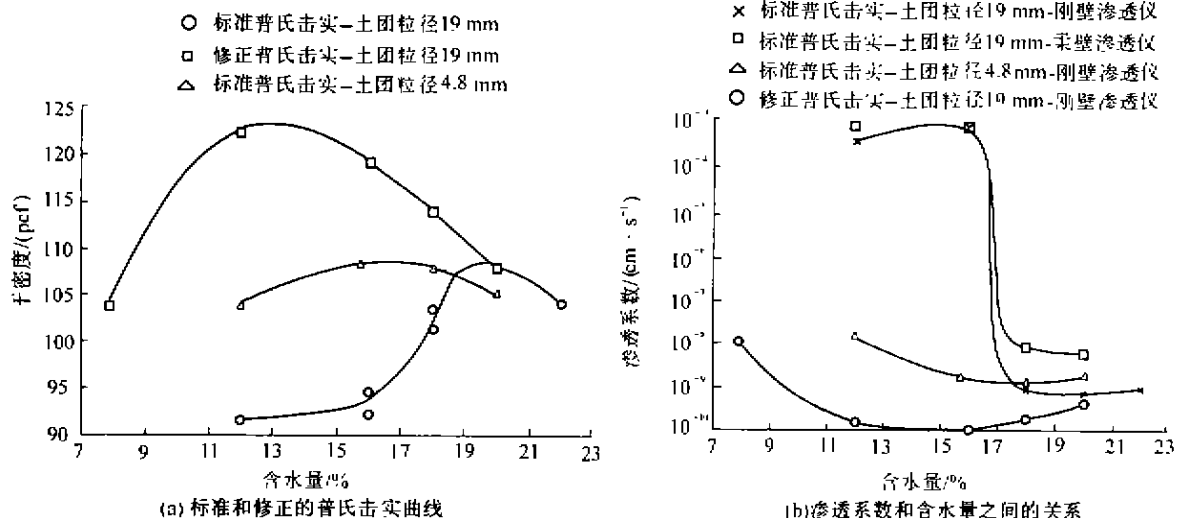


图2 土团大小对渗透系数的影响 ($1 \text{ pcf} = 1 \text{ 英磅/英尺}^3 = 0.016 \text{ g/cm}^3$)

颗粒排列理论认为,受含水量影响的单个土颗粒的排列控制着压实粘土的渗透系数。 w 小于 w_{op} 时,压实土粒间吸力超过斥力,颗粒较任意地定向排列,形成絮凝结构(图3)^[6],颗粒呈团粒状存在,团粒之间的孔隙尺寸较大,故相应渗透系数也较大。 w 大于 w_{op} 时,颗粒间滑动阻力较小,粒间斥力超过吸力,击实时产生的剪应变使颗粒接近于平行的定向排列,形成分散结构(图3),其总孔隙率可能与干于 w_{op} 的土样一样,但其孔隙尺寸较小,所以其渗透性也显著减小。因此,表现在同一条击实曲线上, w 大于 w_{op} 一侧比 w 小于 w_{op} 一侧渗透系数为小。

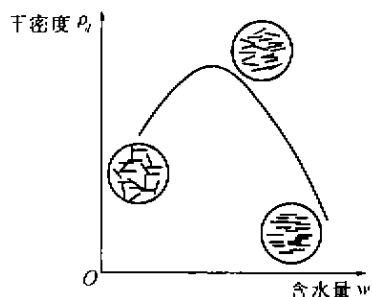


图3 同一条击实曲线上土颗粒的排列

土团理论认为,压实粘土中大部分水流发生在土团间相对较大的孔隙空间,而不是发生在土团内

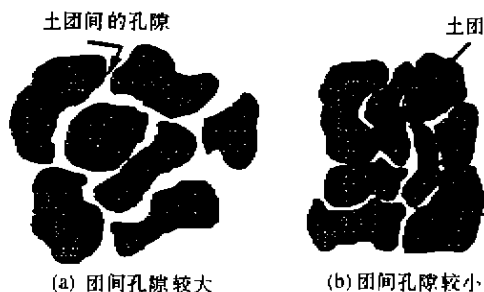


图4 土团重塑对压实粘土透水性的影响

部土颗粒之间的微小孔隙中,如图4所示^[7]。丹尼尔(Daniel)将该理论用于现场试验^[3],认为湿软的土团比干硬的土团容易重塑,因此,当粘土在比 w_{op} 稍湿的情况下压实时,湿软的土团易被重塑,从而使土团之间的孔隙变小,渗透系数降低。

2 试验方法和试验条件

a. 击实方法和击实能^[5]. 不同击实方法和击实能对渗透性的影响,在于压实土结构性方面。搓揉压实产生的剪应变最大,有利于粘土颗粒的定向排列,故土的渗透性最小。静压法产生的剪应变最小,形成的土的渗透性较大,而动力击实介于两者之间。

增加击实能可使土更趋向分散结构,分散结构具有较小的孔隙,从而渗透性降低。这种影响在于 w_{op} 一侧较小,在湿于 w_{op} 一侧较大,见图5^[5]。

b. 击实含水量和干密度. 击实含水量通过影响土的组构来控制着渗透性,即 w 小于 w_{op} 时,渗透系数随击实含水量增大而减小; w 大于 w_{op} 时,渗透系数比较接近,湿于 w_{op} 一侧的渗透系数比干于 w_{op} 一侧的渗透系数为小,见图6^[5,8]。这可以用上述的颗粒排列理论或土团理论加以解释。

干密度的大小表明土团间孔隙的情况,干密度越大,则土团间孔隙越小,渗透系数越小。

c. 饱和度. 土样的饱和度愈低,孔隙内残留气体愈多,会堵塞孔隙,使有效渗透面积减小,致使渗透系数逐渐降低。同时由于气体因孔隙水压力的变化而胀缩,因而饱和度的影响即成为一个不定因素。研究表明,其它条件相同时,饱和度越大, k 值也越大,饱和度的变化可使 k 值相差4~5倍^[5]。因此,为了保持试验精度,要求试验试样必须充分饱和,排尽土体孔隙中的气体。

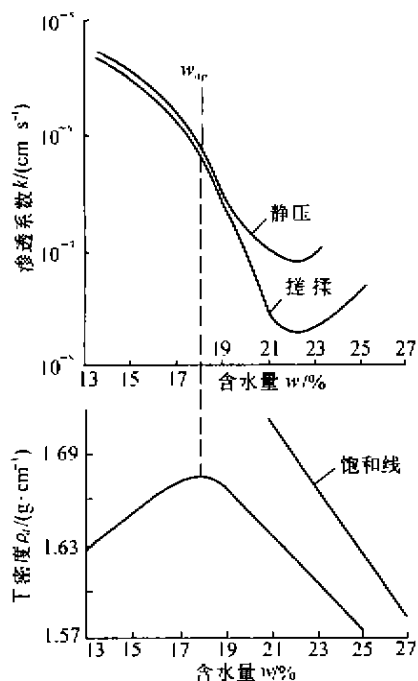


图5 压实方法对渗透性的影响

d. 试样大小. 通常认为, 诸如裂缝、裂隙等水力缺陷控制着细粒土的渗透性, 工程人员推测室内和现场所测渗透系数相差较大的原因是室内的小土样没有代表性, 不能代表现场土中存在的水力缺陷^[1].

e. 水力坡降. 研究证明, 细粒土由于孔隙小, 且存在结合水膜, 只有在较大水力坡降作用下突破结合水的堵塞, 才发生渗透, 故存在一个起始坡降^[9]. 而在开始渗透后又由于有效过水断面的变动, 渗透速度与水力坡降不呈线性关系, 而不符合达西渗透定律, 直

到最后渗透断面构成为止, 才符合达西渗透定律.

研究表明, 渗透系数随水力坡降增大而减小, 且这个过程不可逆, 最主要的原因因为渗透力作用下导致土颗粒迁移, 堵塞粒间孔隙, 使渗透系数减小^[2].

f. 渗透液的类型. 不同渗透液引起渗透性的变化, 主要是由于在不同介质条件下形成的土的组构不同所致^[5]. 极性越大的液体, 使土形成更为分散的结构, 颗粒将更有规律地定向排列, 使土具有更小的渗透性. 对一组渗透液为蒸馏水、自来水和合成铅锌尾渣淋洗液的渗透试验表明渗透性为: 尾渣淋洗液大于自来水, 自来水大于蒸馏水^[2].

g. 试样龄期^[5]. 压实粘土在 ρ_d 和 w 不变的情况下, 其强度随成型后时间的增长而增加. 这是触变性的反映, 其实质是因颗粒的弹性效应, 使土随时间增长而趋向于更絮凝的结构, 因此渗透性也随龄期而加大, 与强度增长的规律是一致的, 见图 7.

3 其它因素

a. 上覆压力. 作用于衬垫上的上覆压力通过关闭裂缝、限制膨胀和减少粒间孔隙使渗透系数减小.

b. 衬垫厚度. 衬垫厚度影响上覆压力和渗径长度. 衬垫越厚, 上覆压力越大, 渗透系数越小; 衬垫越厚, 渗径越长, 据达西渗透定律, 则渗漏量越小.

c. 施工质量保证. 施工质量保证对衬垫的渗透系数没有直接影响, 但它是施工程序中的一个重要组成部分. 施工质量得到保证, 则衬垫防渗性能得到保障.

d. 环境影响. 环境影响包括失水干燥和冻融. 压

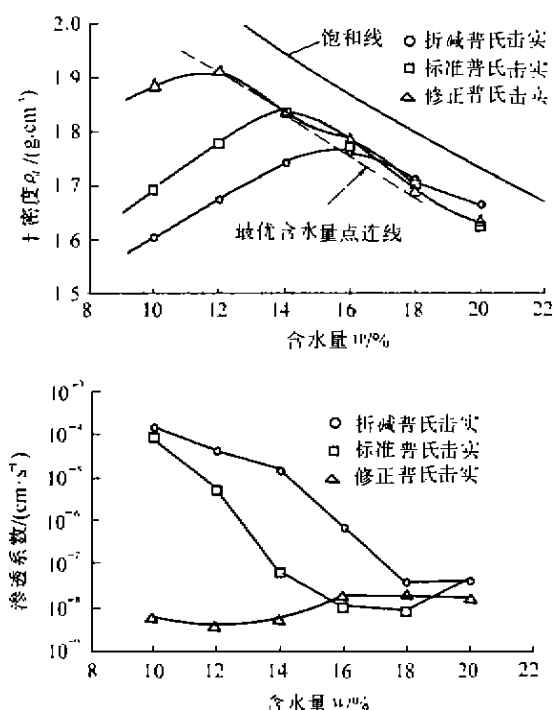
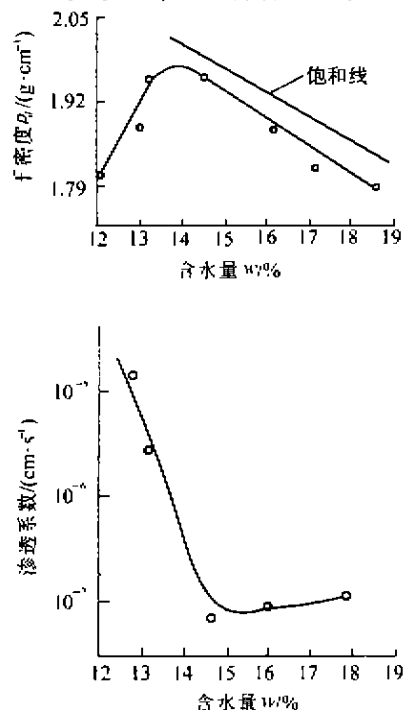


图6 击实含水量对渗透系数的影响

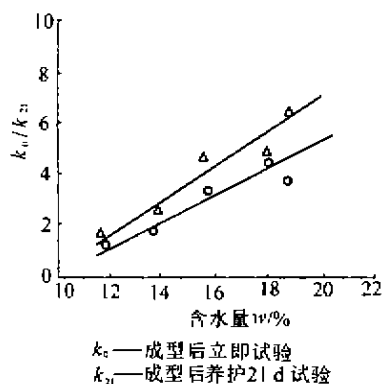


图7 龄期对渗透性的影响

实粘土失水干燥引起的收缩会导致衬垫干裂^[1,10],从而不能发挥正常的防渗功能.许多现场和室内试验均表明冻融循环会使压实细粒土的 k 值增大1~2个数量级^[11],其原因是冻融过程中形成的冰透镜体产生裂缝网,形成渗透通道,使 k 值增大.

4 结 语

对填埋场压实粘土衬垫而言,其渗透系数是衬垫发挥防渗功能的关键所在.事实上,影响压实粘土衬垫渗透系数的因素有很多,还有许多因素或没有考虑到,或因条件限制无法开展研究.本文只是对国内外已有的研究成果作出了部分列举,影响压实粘土衬垫渗透系数的其它因素有待进一步研究,尤其是在以试验研究为主要方法的前提下加以开展.

参考文献:

- [1] Daniel D V. Predicting hydraulic conductivity of clay liners[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1984, 110(2): 285 ~ 300.
- [2] Dunn R J, Mitchell J K. Fluid conductivity testing of fine-grained soils[J]. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1984, 110(11): 1648 ~ 1665.
- [3] Benson C H, Daniel D V. Influence of clods on hydraulic conductivity of compacted clay[J]. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1990, 116(8): 1231 ~ 1248.
- [4] Elsbury B R, et al. Lessons learned from compacted clay liner[J]. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1990, 116(11): 1641 ~ 1660.
- [5] 黄文熙. 土的工程性质[M]. 北京: 水利电力出版社, 1983.
- [6] Lambe T W. The structure of compacted clay[J]. Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1958, 84(2): 1 ~ 35.
- [7] Olsen H W. Hydraulic flow through saturated clays[J]. Clays and Clay Minerals, 1962, 9(2): 131 ~ 161.
- [8] Mitchell J K, Hopper D R, Campanella R G. Permeability of compacted clay[J]. Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 1965, 91(4): 41 ~ 65.
- [9] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 第二版. 北京: 中国水利水电出版社, 1995.
- [10] Daniel D V, Wu Y K. Compacted clay liners and covers for arid sites[J]. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1993, 119(2): 223 ~ 237.
- [11] Benson C H, Othman M A. Hydraulic conductivity of compacted clay frozen and thawed in situ[J]. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1993, 119(2): 276 ~ 294.

(收稿日期: 1999-07-08 编辑: 张志琴)

(上接第18页)

等级越高的粉煤灰对混凝土的性能的改善效果越好.

c. 粗细骨料. 碾压混凝土的粗细骨料最大的粒径: 三级配不大于 80 mm; 二级配不大于 40 mm; 骨料应满足 SDJ207-82《水工混凝土规范》的相关要求. 细骨料的细度模数一般要求控制在 2.2 ~ 2.8 范围内. 砂中的石粉 ($d < 0.16$ mm 的颗粒) 含量 (占细骨料的重量比) 以 12% ~ 17% 为宜, 但目前在建的几个大型工程均控制在 12% ~ 22% 之间. 碾压混凝土的粗细骨料均要求不能发生碱性反应.

d. 外加剂. 碾压混凝土的外加剂具有十分重要的作用, 外加剂的性能主要以缓凝作用为主, 减水作用为次. 碾压混凝土的初凝时间一般要求大于 12 h, 减水效果一般要求在 12% ~ 20% 范围内.

e. 水. 普通饮用水可作为混凝土拌和用水.

4 施工机具

a. 搅拌设备. 碾压混凝土的拌和楼可以是强制式, 也可以是自落式; 拌和楼的搅拌性能必须经试验

检测后方可投入正式使用. 变态混凝土的制浆机可以采用灌浆用的低速搅拌机, 也可用自制的搅拌桶进行制浆.

b. 运输设备. 水平运输设备可以用自卸汽车, 也可以用快速深槽皮带机. 垂直运输设备可以用负压溜槽、限速溜槽、塔机、吊罐等.

c. 平仓设备. 一般采用湿地推土机进行平仓作业, 也可用改造后的普通轻型推土机进行平仓.

d. 碾压设备. 碾压设备一般采用双钢轮振动碾压压机.

e. 切缝设备. 切缝可采用简易的人工切缝, 即用高频振捣机或蛙式夯机进行加装刀片改造用于切缝, 也可用振动切缝机. 振动切缝机是由小型液压挖掘机进行改装而成.

f. 层面处理设备. 高压冲毛机、刷毛机是常用的层面处理设备, 高压冲毛机的水压力一般可达 0.3 ~ 0.5 MPa, 以混凝土终凝后进行混凝土层面处理, 能够达到良好的处理效果. 局部层面冲毛机难处理到的部位可以采用电动刷毛机进行层面补充刷毛处理.

(收稿日期: 1999-10-10 编辑: 张志琴)