

多功能膨胀渗透仪的研制及压实膨润土的渗透性试验

周抗寒 李国鼎 俞珂

(清华大学环境工程系, 北京 100084)

摘要 报道多功能膨胀渗透仪的研制及压实膨润土的渗透测试结果。该装置可用于土壤的固结、渗透、膨胀等实验, 具有一物多用的特点, 特别适合于难渗透的高压实膨润土($\rho > 1.5 \text{ g/cm}^3$)的研究。在水力梯度为 $(2-4) \times 10^3$ 的条件下, 对渗透系数为 $10^{-12} - 10^{-6} \text{ cm/s}$ 的试样可进行准确测量。该装置的研制, 为我国在高压实难渗透性和膨胀性粘土方面的研究提供了条件。

关键词 渗透仪, 渗透性, 压实膨润土。

土的渗透性, 即土中自由水流动的难易程度, 是土的重要性质。在环境工程领域中, 土的渗透性质不仅直接关系到固体废物填埋场的工程设计, 而且在研究污染物在土壤中的迁移转化以及评价地下水的污染程度等理论工作中也具有重大意义。有关渗透系数的测量方法主要有 2 种^[1,2]。废物填埋处理场, 一般以夯实的粘土作衬底用土, 这种土样的渗透系数低于 10^{-7} cm/s , 而用于高活度放射性废物深地质处置的压实膨润土, 其渗透系数要求低于 10^{-11} cm/s , 为得到这些几乎不透水试样的可靠渗透系数, 需要通过设计新的试验仪器或改进试验技术来直接测量。

1 研究方案的设计

透水性极低的试样难以准确测定其渗透性参数的原因归纳起来主要有: ① 难以使试样饱和; ② 试样较厚时, 渗透水流达正常状态需要非常长的时间, 而较薄时, 又存在边界渗流的影响; ③ 渗透试验中需较长时间才能得到少量的渗流量, 不易准确计量; ④ 因渗流量甚小, 系统可能的漏水和蒸发均有较大的影响; ⑤ 低水力梯度作用下, 将出现偏离达西定律的现象。因此, 针对难透水土样所研制的特殊渗透仪都是为克服以上多方面的困难着手设计的, 所遵

循的主要理论是达西定律, 即:

$$v = K_s \cdot H/L$$

式中, v : 渗透速度; K_s 饱和渗透系数; H : 渗流路径始末断面的总水头差; L : 渗流路径的直线长度。

目前可供使用的装置主要有 3 轴仪和渗透试验的固结仪 2 种^[1,3], 图 1 为 3 轴仪的装置图, 它的基本特点是: ① 试样装在橡皮膜内并施加侧压, 可防止沿试样侧面的漏水; ② 流量的测定使用压力传感器或封闭的体变管, 避免了蒸发的影响; ③ 可以加大水力梯度, 防止偏离达西定律, 并能加快实验速度。图 2 为渗透试验的固结仪装置, 它的优点是: ① 试样厚度薄, 所需试验时间短; ② 漏水的影响少。但是, 以上 2 种装置测量的范围依然有限, 一般只能测到 10^{-9} cm/s 左右^[3]。而高压实膨润土, 一方面渗透系数极低, 采用以上装置不能顺利实验, 如渗透固结仪竖管产生的水力梯度不是很大, 将偏离达西定律, 并且所缩短的实验时间有限, 渗流量的测定上也欠准确; 另一方面由于材料吸水膨胀的固有性质, 产生的膨胀力极大, 将破坏所测仪器, 如 3 轴仪的橡皮模具等。因此, 需要针对这些情况对渗透仪进行结构上的研制。

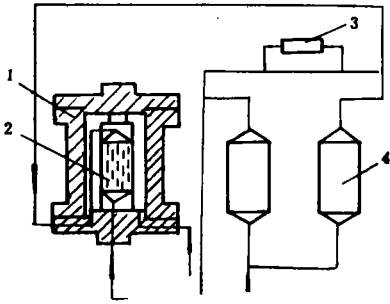


图 1 3 轴仪装置原理图

1. 3 轴压力室 2. 试样 3. 压力罐 4. 压力传感器

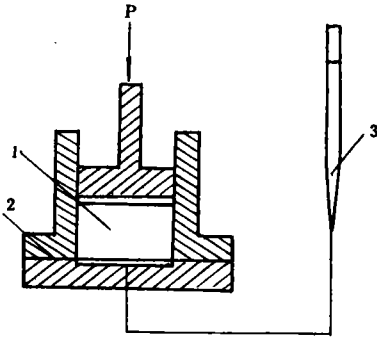


图 2 渗透试验的固结仪装置

1. 试样 2. 固结仪 3. 竖管

本设计所采取的措施是：

(1) 在试样的制取上吸取了固结仪的优点，即土样直接压入缸体中，既可制得所需容重的试样，又可防止边壁效应的影响。

(2) 渗流量的收集采用密封玻璃瓶，用注射针头使之与渗透仪及大气联接而便于测量，在瓶内装有少量油浴用油，利用油、水的比重不同自动地保护渗流水免受蒸发。

(3) 高压进水，既防止低水力梯度下出现的偏离达西定律现象，又可加速实验速度。

(4) 用 $1/10^4$ 分析天平对渗液液计量，提高仪器的灵敏度。

图 3 为所设计的装置主体设备图，它由缸体、活塞、底座、滤板等组成，材料采用碳钢，并进行镀铬处理，缸体面积为 30 cm^2 ，活塞与缸体直径之差为 0.05 mm 左右，为加强活塞与

缸体的密封，在活塞上安有 2 道 O-型橡胶圈，滤板由钻有小孔、厚为 10 mm 的钢板及 $61 \mu\text{m}$ 筛网构成，整个装置由高压氮气钢瓶、稳压系统、压力水罐、渗透仪、渗流量收集计量系统组成，如图 4 所示。压力水罐内的蒸馏水用高压氮气加压后，经活塞从上往下渗透，渗透液从注射针头流入下端的玻璃瓶，从定时称量的渗流液求取渗透系数。

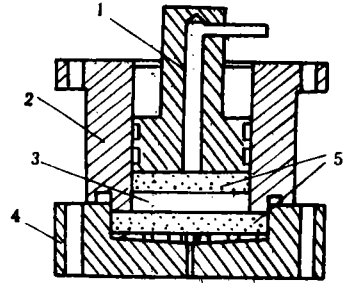


图 3 多功能膨胀渗透仪主体装置图

1. 活塞 2. 缸体 3. 试样 4. 底座 5. 滤板

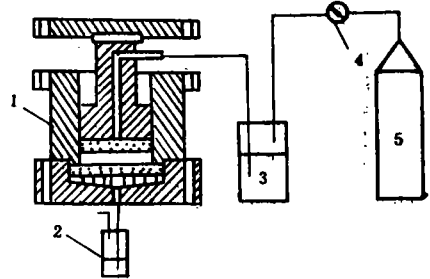


图 4 渗透测量流程图

1. 渗透仪 2. 集水瓶 3. 高压水罐
4. 压力稳定、指示仪 5. 氮气瓶

2 渗透实验结果与讨论

目前，国内、外针对一般的岩土渗透特性的研究报道较多，但有关高压实膨胀土渗透性的研究国内尚未开展，国外报道亦较少，从文献来看只有 Pusch 等人* 做过一些工作。为检验本装置的性能，采用和 Pusch 相似的材料和

* Roland Pusch. SKB technical report 80-16, Swedish nuclear fuel and waste management CO, 1980; 12

基本相同的实验条件进行实验。Pusch 所用的材料是按 MX-80 配制的,其主要成分为钠质膨润土。本实验仿照其材料配方的试样(定名为 MX-80'),在 CSS-万能电子试验机上压制,样厚 10 mm,面积为 30 cm²。表 1 为所得实验结果与 Pusch 结果的比较。

表 1 使用本装置测定试件的结果与报道值'的比较

材 料	容重 (g/cm ³)	温度 (C)	水力梯度 ($\times 10^3$)	渗透系数 (10^{-12} cm/s)
MX-80	1.9	20	5	20
MX-80	2.21	20	1	5.0
MX-80'	1.9	20	4	30
MX-80'	2.21	20	4	5.7

从表 1 中的对比数据可知,在几近相同的实验条件下,对高密实膨润土的测定结果与 Pusch 之值基本相同,说明该装置具有准确测量这种难透水试样的能力,也证明所采取的制样方法和渗流量的收集、分析与量测方法是可信的。由于达西定律仅适用于层流状态,而渗透过程与水力梯度密切相关,在过低的水力梯度下,紧靠土粒表面的水分子受介质吸附力的作用,其颗粒间的自由水可能根本不流动(通量为

表 2 不同水力梯度下的实验结果

容重 (g/cm ³)	温度 (C)	水力梯度 ($\times 10^3$)	渗透系数 ($\times 10^{-11}$ cm/s)
1.9	20	4	3.1
1.9	20	3	2.8
1.9	20	2	2.3
1.9	20	1	0.8

0)或低于达西定律所预示的实际值,而过高的水力梯度又可能使渗出水呈紊流态,它们都将偏离达西定律。为了弄清实验中渗出液的流态,进行了不同水力梯度下的渗透系数测定实验,所得结果列于表 2。从表 2 可见:尽管水力梯度不同,但所测结果相近。说明实验处于层流下,因为渗流只有处在层流状态下,流速和水力梯度才呈正比,从而渗透系数为定值。因此,在水力梯度为 $(2-4) \times 10^3$ 的条件下,都能得到可靠的实验结果。

3 结 语

(1) 本装置结构简单,操作方便,可对任何容重的压实粘土进行渗流量的测量。

(2) 灵敏度高,所得测量结果准确可靠。

(3) 安装传感器,可测量膨胀性土样的膨胀压力及膨胀量,也可用于固结实验,一物多用。

(4) 对于膨胀性土样,可根据膨胀压的变化判定试样的饱和程度。

(5) 该装置的研制有利于对难渗透性岩土研究工作的开展,特别是对高放射性废物深地质处置中缓冲膨胀性材料的有关研究具有极大的实用意义。

参 考 文 献

- 1 窦宜,盛树馨. 土工实验室测定技术. 北京:水利电力出版社,1987:182
- 2 三木五三郎编,陈世杰译. 日本土工实验法. 北京:中国铁道出版社,1985:392
- 3 中野藤志. 土質工学会論文報告集. 1993, 31(3):164

management and decision-making.

Key words: river basin management, model, QUAL2EU, non-point sources pollution, river water quality, reservoir.

Study on the Thermal Effects of Cooling Water from Power Plants on Young Mullet (*Liza haematochlia* Temminck and Schlegel). Ru Shaoguo (Marine Life College, Qingdao Ocean University, Qingdao 266003), Hou Wenli et al. (Dept. of Environ. Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(5), 1995, pp. 30–32

The title study was carried out by measuring various critical temperatures for young mullet. The results show that under the condition of a natural water temperature of 25°C, young mullet had its avoidance temperature, TL₅₀, UILT, MWAT, CTM and short-term exposure maximum temperature of 34°C, 36.7°C, 38.75°C, 30.52°C, 40.82°C and 35.32°C, respectively. The areas where young mullet was sensitive to a thermal effect were mapped, and a temperature-time equation $\log t(\text{min}) = 17.9422 + 0.4202 T(^{\circ}\text{C})$ and a safe temperature equation $T(^{\circ}\text{C}) = (\log 1440 - a)/b - 2$ were established. A high temperature shock of $\Delta T = 15^{\circ}\text{C}$ for 2 minutes led to a mortality of 25%, that of $\Delta T = 14^{\circ}\text{C}$ for 5 minutes led to a mortality of 15% and the maximum tolerable ΔT was less than 15°C.

Key words: cooling water from power plant, young mullet, thermal effect.

Comparative Study on Ecological Suitability of Cities Within a Region. Yang Yongtai (Foshan City's EPA, Foshan 528000); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(5), 1995, pp. 33–37

The principles and specific indicators for urban ecological suitability were described. Based on the natures of urban ecosystems, the factors composition analysis and fuzzy maximum tree method were suggested to estimate the homogeneity and heterogeneity of the ecological suitabilities among cities within a region. By exemplifying the group of cities in the Pearl River Delta, the scores of compositional factors and the fuzzy sub-tree sets for the ecological suitabilities of cities were calculated. The results show that the method gave reasonable conclusions and was more practical.

Key words: urban ecological suitability, composition factor, fuzzy maximum tree, comparative study.

Development of a Multifunctional Swell and Permeability Apparatus and Its Application to

the Permeability Test of Compacted Bentonite. Zhou Kanghan, Li Guoding and Yu Ke (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, Beijing 100084); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(5), 1995, pp. 38–40

A multifunctional swell and permeability apparatus has been developed and can be used for many different purposes, for example, the tests of soil for solidifiability, permeability and swellability. It was found that it is particularly useful in the study on a highly compacted and less permeable bentonite of $\rho > 1.5 \text{ g/cm}^3$. With this apparatus, a sample of a permeability in the range of 10^{-12} – 10^{-6} cm/s was precisely measured under the condition of a hydraulic gradient in the range of $(2-4) \times 10^3$. It is also useful to study those highly compacted, less permeable and swellable clays.

Key words: permeability apparatus, permeability, compacted bentonite.

Experimental Studies on Firing a Glazed Colored Glass-Brick from Chromic Slag. Wang Yongzeng et al. (Tangshan Longge Ceramic and Rere Farth Development Corp. Tangshan 063000); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(5), 1995, pp. 41–44

Firing a glazed colored glass-brick from chromic slag was carried out as a high-level research on processing chromic slag harmlessly in ceramic industry. The experiment results show that the leaching amount of hexavalent chromium was lower than the national standard, with its physical and chemical properties conforming to the relative national standard requirements under the conditions of adding 20% chromic slag and a certain amount of fluxing agent into the base material, and controlling the shaping pressure, technological parameters and condition in the firing processes.

Key words: chromic slag, glazed colored glass-brick, hexavalent chromium.

Study on the Treatment of Gentamycin and Aureomycin Wastewaters and the Measures for Pollution Control. Zhou Ping and Qian Yi (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, Beijing 100084), Su Chengyi (Chinese Research Academy of Environ. Sciences, Beijing 100012); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(5), 1995, pp. 45–47

A gentamycin wastewater, an aureomycin wastewater and a mixture of both wastewaters were subjected to an anaerobic treatment, an aerobic treatment or a combination of both treat-