

强夯处理湿陷性黄土后地基土的化工油品渗透试验

詹金林,水伟厚

(上海现代建筑设计集团申元岩土工程有限公司,上海 200011)

摘要 对西北某黄土塬湿陷性黄土分别进行 3 000 kN·m,8 000 kN·m,12 000 kN·m 和 15 000 kN·m 能级强夯加固处理,对处理后有效加固深度内的地基土探井取样,分别对地基土进行水、MTBE(甲基叔丁基醚)、甲苯、汽油、柴油、原油液相作用下的渗透试验。试验采用常规变水头渗透试验设备进行室内渗透试验,计算公式也采用变水头渗透系数计算公式。通过对化工油品的渗透试验研究,得出化工油品在地基土中渗透快慢的基本规律,可供防止化工油品污染地基土和地下水设计提供参考。

关键词 湿陷性黄土 化工油品 渗透试验 地基处理

中图分类号 :TU411.4 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2009)S1-0055-03

为防止化工污染源对地基土、地下水造成污染,环境保护投资的费用逐渐加大。关于水在各种地基土中的渗透性试验研究很多^[1-5],然而关于化工油品在土中的渗透试验性研究却很少,根据检索目前尚未发现化工油品在岩土中的室内渗透试验的报道,笔者针对黄土地区高能级强夯处理后的地基土进行化工油品渗透试验,为化工油品在黄土土中的渗透污染提供参考数据。

试验项目位于西北某黄土塬,设计针对不同建(构)筑物要求分别采用 3 000 kN·m,8 000 kN·m,12 000 kN·m 和 15 000 kN·m 的强夯能级进行地基加固处理,消除地基土的湿陷性,提高地基土承载力和压缩模量。根据夯后室内土工试验检测分析,消除湿陷性深度分别不小于 5 m,9 m,12 m 和 15 m。为了解各种强夯能级处理后黄土以及灰土在水、MTBE(甲基叔丁基醚)、甲苯、汽油、柴油、原油等液相作用下的渗透特性,进行了相关液相的地基土渗透试验,确定各种液相在处理后各层地基土中的渗透系数和地基土的等效渗透系数,为设计计算和工程污染防渗评价提供依据。

1 工程地质简介

场地位于我国西北某黄土塬,原地形平坦、开阔,起伏不大,属半干旱内陆性季风气候区。钻孔最大揭示深度为 40 m,揭示地层 13 层:第 1 层粉质黏土(黑垆土)为 Q₄,第 2、第 3、第 4 层粉质黏土(马兰黄土)为 Q₃,第 5、第 6、第 7、第 8、第 9、第 10、第 11、

第 12、第 13 层粉质黏土(离石黄土上段)为 Q₂。勘探场区,湿陷性黄土的湿陷程度由上向下逐渐减弱,一直渐变为非湿陷性黄土。湿陷性黄土的底界埋深在 16 m 左右,场地内湿陷性黄土为 Q₃ 的马兰黄土和 Q₂ 顶部的离石黄土。场地黄土的湿陷等级为 II 级,湿陷类型为自重湿陷性黄土。

2 试验仪器及方法

由于没有专门用于化工油品在土中的室内渗透试验仪器,考虑到化工油品和水都是液态的共性,故采用常规的变水头渗透试验设备,可能同真实情况有所差别,但也算是一些尝试,得到相关试验的一些基础数据。试验采用探井刻取原状土样,探井取样间距为 1 m。

试验采用变水头渗透试验装置,如图 1 所示,试

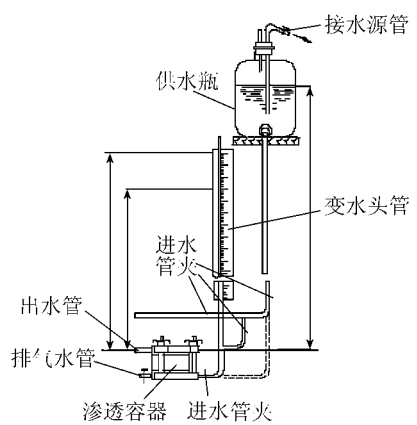


图 1 变水头渗透装置

样的制备及整个试验过程完全按照土工试验中关于水渗透试验操作^[6-7]。该次试验仅做竖向渗透试验，未作水平渗透试验。

变水头试验历时较长,由于汽油、MTBE 等化工油品具有较强的挥发性,变水头管内的液相水位变化受挥发影响较大。在试验过程中设置与变水头管相同直径的油品挥发测试管,根据挥发水位修正变水头管内的水头位置。

渗透系数计算采用变水头渗透系数计算公式^[6]：

$$k_t = 2.3 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \log \frac{H_1}{H_2} \quad (1)$$

式中： a 为变水头管的断面积， cm^2 ； 2.3 为 $\ln$ 和 $\log$ 的变换系数； L 为渗径,即试样高度， cm ； t_1, t_2 分别为测读数水头的起始和终止时间， s ； H_1, H_2 分别为起始和终止水头， cm 。

3 渗透试验结果

根据勘察报告揭示,场地未处理前地基土水的渗透系数在 $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{cm/s}$ 量级。经过 $3\,000 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 强夯地基处理后, $3\,000 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 试验区室内水的渗透系数为 $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{cm/s}$ 量级,处理后土的渗透系数大幅度减小。

表 1 为 $8\,000 \text{ kN}\cdot\text{m}$, $12\,000 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 和 $15\,000 \text{ kN}\cdot\text{m}$

表 1 不同能级地基土垂直渗透试验系数统计

强夯能级/ ($\text{kN}\cdot\text{m}$)	密度/ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	取样 深度/ m	渗透系数/($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)					
			水	MTBE	甲苯	汽油	柴油	原油
8 000	1.963	0.5	3.46×10^{-6}	2.89×10^{-7}	1.04×10^{-5}	1.68×10^{-5}	3.21×10^{-6}	4.98×10^{-7}
	1.885	1.5	1.53×10^{-6}	5.59×10^{-7}	8.36×10^{-6}	1.18×10^{-5}	7.56×10^{-7}	7.15×10^{-8}
	1.830	2.5	3.16×10^{-6}	1.52×10^{-5}	9.37×10^{-6}	7.47×10^{-5}	1.97×10^{-6}	3.77×10^{-7}
	1.778	3.5	1.07×10^{-5}	3.10×10^{-4}	2.71×10^{-4}	4.74×10^{-5}	5.46×10^{-5}	5.21×10^{-6}
	1.742	4.5	3.33×10^{-5}	3.69×10^{-5}	2.92×10^{-4}	8.78×10^{-5}	1.47×10^{-4}	9.16×10^{-6}
	1.745	5.5	7.20×10^{-5}	1.30×10^{-4}	2.27×10^{-4}	4.05×10^{-4}	3.01×10^{-5}	5.73×10^{-6}
	1.749	6.5	1.70×10^{-5}	3.27×10^{-5}	4.11×10^{-4}	5.75×10^{-5}	6.83×10^{-5}	2.45×10^{-6}
	1.726	7.5	8.11×10^{-6}	1.82×10^{-5}	8.71×10^{-4}	2.91×10^{-5}	1.07×10^{-4}	1.10×10^{-7}
	1.737	8.5	8.57×10^{-6}	3.27×10^{-5}	9.43×10^{-5}	3.98×10^{-4}	1.78×10^{-5}	1.92×10^{-7}
	1.770	9.5	2.19×10^{-4}	5.23×10^{-4}	7.40×10^{-4}	8.37×10^{-4}	3.33×10^{-5}	4.08×10^{-6}
			渗透系数/($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)					
			水	MTBE	甲苯	汽油	柴油	原油
12 000	1.977	0.5	3.86×10^{-7}	1.51×10^{-7}	6.37×10^{-4}	6.76×10^{-6}	2.51×10^{-6}	7.38×10^{-8}
	2.160	1.5	8.98×10^{-7}	4.35×10^{-7}	3.65×10^{-5}	3.39×10^{-6}	1.38×10^{-4}	8.44×10^{-8}
	2.032	2.5	1.20×10^{-5}	2.89×10^{-6}	1.34×10^{-4}	5.55×10^{-5}	4.15×10^{-7}	4.16×10^{-7}
	1.938	3.5	1.33×10^{-6}	1.16×10^{-4}	2.87×10^{-5}	3.26×10^{-6}	2.55×10^{-6}	2.65×10^{-7}
	2.065	4.5	2.96×10^{-8}	4.09×10^{-6}	9.72×10^{-5}	1.07×10^{-6}	1.64×10^{-6}	9.02×10^{-9}
	2.035	5.5	8.71×10^{-8}	2.28×10^{-6}	1.68×10^{-5}	3.43×10^{-5}	1.68×10^{-5}	2.71×10^{-9}
	1.858	6.5	3.08×10^{-7}	3.81×10^{-4}	9.82×10^{-7}	4.79×10^{-6}	8.07×10^{-7}	3.24×10^{-9}
	1.943	7.5	1.04×10^{-6}	4.95×10^{-7}	2.44×10^{-6}	1.14×10^{-5}	1.06×10^{-6}	7.83×10^{-7}
	1.824	8.5	3.58×10^{-6}	1.93×10^{-6}	5.41×10^{-6}	3.23×10^{-6}	6.31×10^{-6}	3.47×10^{-7}
	1.733	9.5	1.08×10^{-4}	1.74×10^{-4}	3.52×10^{-4}	6.55×10^{-4}	4.11×10^{-5}	6.20×10^{-6}
	1.792	10.5	2.86×10^{-5}	9.48×10^{-5}	1.13×10^{-3}	2.09×10^{-4}	1.06×10^{-4}	3.78×10^{-6}
	1.888	11.5	1.65×10^{-6}	2.30×10^{-5}	9.28×10^{-6}	4.65×10^{-5}	2.01×10^{-4}	1.49×10^{-7}
			渗透系数/($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)					
			水	MTBE	甲苯	汽油	柴油	原油
15 000	2.001	0.5	1.28×10^{-6}	5.95×10^{-6}	3.19×10^{-4}	1.28×10^{-4}	1.89×10^{-5}	3.64×10^{-7}
	2.129	1.5	1.62×10^{-8}	2.30×10^{-7}	3.38×10^{-5}	1.53×10^{-4}	3.15×10^{-6}	2.70×10^{-9}
	1.953	2.5	2.12×10^{-7}	2.04×10^{-6}	3.73×10^{-6}	2.73×10^{-5}	1.12×10^{-6}	5.53×10^{-8}
	2.076	3.5	4.88×10^{-8}	4.20×10^{-7}	6.89×10^{-7}	1.39×10^{-5}	2.33×10^{-7}	5.37×10^{-9}
	1.941	4.5	4.69×10^{-7}	2.92×10^{-6}	2.06×10^{-6}	6.24×10^{-6}	6.97×10^{-6}	4.33×10^{-8}
	1.817	5.5	2.02×10^{-6}	1.13×10^{-5}	7.42×10^{-5}	2.59×10^{-5}	2.25×10^{-6}	3.27×10^{-7}
	1.806	6.5	1.05×10^{-6}	6.56×10^{-6}	9.51×10^{-6}	1.62×10^{-5}	1.96×10^{-4}	7.75×10^{-7}
	1.946	7.5	8.90×10^{-6}	8.63×10^{-4}	1.25×10^{-4}	3.95×10^{-4}	1.01×10^{-4}	9.27×10^{-7}
	1.887	8.5	2.46×10^{-7}	3.61×10^{-6}	2.25×10^{-4}	9.42×10^{-6}	3.07×10^{-5}	4.22×10^{-7}
	1.769	9.5	3.72×10^{-6}	1.95×10^{-4}	1.25×10^{-4}	3.77×10^{-4}	1.14×10^{-4}	1.31×10^{-7}
	1.711	10.5	2.55×10^{-5}	1.79×10^{-4}	5.32×10^{-4}	3.68×10^{-4}	2.35×10^{-5}	4.18×10^{-6}
	1.671	11.5	4.06×10^{-5}	1.71×10^{-4}	1.62×10^{-4}	1.56×10^{-4}	8.23×10^{-6}	3.72×10^{-7}
	1.706	12.5	7.85×10^{-5}	5.42×10^{-4}	5.47×10^{-5}	3.53×10^{-4}	4.04×10^{-5}	7.22×10^{-6}
	1.785	13.5	7.11×10^{-6}	1.06×10^{-5}	9.12×10^{-6}	2.36×10^{-5}	1.15×10^{-4}	6.73×10^{-7}
	1.900	14.5	1.94×10^{-6}	1.81×10^{-5}	3.95×10^{-5}	1.00×10^{-4}	2.92×10^{-6}	2.98×10^{-7}

注:该次室内渗透试验周围气温为 $20 \sim 26.5^\circ\text{C}$ 。

能级试验区夯后地基土在不同渗透液相下的垂直渗透试验系数统计。表 2 为新击实灰土在不同渗透液相下的渗透试验结果统计。

表 2 压实灰土垂直渗透试验系数统计					
介质	密度/ (g·m ⁻³)	含水量/ %	干密度/ (g·m ⁻³)	平均渗透系数/ (cm·s ⁻¹)	温度/ ℃
水	1.70	9.50	1.55	3.47 × 10 ⁻⁶	23.3
	1.72	11.05	1.55	3.50 × 10 ⁻⁶	26.3
	1.81	14.34	1.58	1.78 × 10 ⁻⁶	26.5
柴油	1.68	10.93	1.52	4.67 × 10 ⁻⁶	25.4
	1.69	11.66	1.51	3.15 × 10 ⁻⁶	25.5
	1.62	3.25	1.57	3.26 × 10 ⁻⁶	26.5
	1.81	14.13	1.59	5.27 × 10 ⁻⁷	26.5
甲苯	1.69	10.52	1.53	5.75 × 10 ⁻⁶	25.5
	1.68	8.40	1.55	1.01 × 10 ⁻⁵	26.6
	1.78	14.24	1.55	8.66 × 10 ⁻⁶	26.5
汽油	1.69	10.52	1.52	7.39 × 10 ⁻⁶	25.4
	1.67	9.08	1.53	1.88 × 10 ⁻⁵	25.5
	1.77	13.72	1.56	1.08 × 10 ⁻⁵	26.5
MTBE	1.76	10.99	1.58	2.11 × 10 ⁻⁶	25.5
	1.75	11.61	1.57	1.48 × 10 ⁻⁵	26.6
	1.74	13.98	1.52	2.89 × 10 ⁻⁵	27.5
原油	1.69	9.86	1.50	4.72 × 10 ⁻⁸	24.0
	1.73	11.23	1.56	1.28 × 10 ⁻⁸	26.5
	1.80	13.74	1.57	2.37 × 10 ⁻⁸	26.0

通过表 2 可以看出,经过高能级强夯处理后,水在地基土中的渗透系数大大减小,减小为 10⁻⁵ ~ 10⁻⁸cm/s 量级。渗透系数 k 是综合反映水在土体渗透能力的一个指标,影响渗透系数大小的因素很多,主要取决于介质的结构(颗粒大小、排列、空隙充填等)和液相的物理性质(液体的黏滞性、密度等)有关。由于本场地的差异性、强夯施工质量的差异性、地基处理的时效性等影响,不同能级强夯处理后,试验的数据有所差异。

4 竖向等效渗透系数计算

根据土力学渗流公式,对于分层的地基土,如果每层土的竖向渗透系数已知,地基土的等效竖向渗透系数由分层竖向最小的渗透系数确定,可根据公式(2)^[7]计算竖向等效渗透系数。

$$K_Z = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{H_i}{k_i}} \quad (2)$$

式中:H 为总土层厚度,cm;H_i 为每一分层土层厚度,cm;k_i 为每一分层土层的竖向渗透系数,cm/s。

根据竖向等效渗透系数公式计算各试验区在各种液相介质下的垂直等效渗透系数,如表 3 所示。

表 3 各试验区竖向渗透系数计算统计							
试验区 强夯能级/ (kN·m)	计算深 度/m	渗透系数/(cm·s ⁻¹)					
		水	MTBE	甲苯	汽油	柴油	原油
3 000	6	1.78 × 10 ⁻⁵					
8 000	10	5.88 × 10 ⁻⁶	1.83 × 10 ⁻⁶	2.86 × 10 ⁻⁵	4.03 × 10 ⁻⁵	4.33 × 10 ⁻⁶	2.93 × 10 ⁻⁷
12 000	12	2.18 × 10 ⁻⁷	9.55 × 10 ⁻⁷	6.43 × 10 ⁻⁶	5.07 × 10 ⁻⁶	1.92 × 10 ⁻⁶	1.44 × 10 ⁻⁸
15 000	15	1.55 × 10 ⁻⁷	1.78 × 10 ⁻⁶	5.91 × 10 ⁻⁶	2.68 × 10 ⁻⁵	2.23 × 10 ⁻⁶	2.40 × 10 ⁻⁸

注:该次室内渗透试验周围气温为 20 ~ 26.5℃,该次渗透试验是针对如表 2 所对应密度参数的试验结果。

5 结 论

采用水力学的变水头渗透试验设备,尝试做化工油品的渗透试验来研究化工油品在地基土中的渗透速度,初步总结可得出以下结论:

a. 由于化工油品具有挥发性,变水头试验期间,尤其是汽油和 MTBE 挥发性极强,应通过同样粗细的玻璃管内挥发液体的挥发速度修正变水头管的水头边变化。

b. 渗透土样的密度、干密度越大,渗透系数就越小,反之则渗透系数大。

c. 室内试验所得的 k 值对于被试验土样是可靠的,但由于试验采用的试样只是现场土层中的一小块,其结构可能受到不同程度的扰动。黄土地基由于其自身的结构性特点,含有大孔隙、植物根系等,对地基土的渗透系数影响较大,在实际工程中其宏观的渗透能力应引起重视。

参考文献:

[1] 胡燕妮,米海珍.兰州大厚度黄土湿陷系数的影响因素[J].兰州理工大学学报,2009(1):121-124.

[2] 朱云华.聚苯乙烯轻质混合土渗透特性试验研究[J].工程勘察,2007(1):17-20

[3] 邓友生,何平,周成林,等.含盐土渗透系数变化特征的试验研究[J].冰川冻土,2006(5):772-775.

[4] 史敬华,赵勇胜,洪梅.垃圾填埋场防渗衬里黏性土的改性研究[J].吉林大学学报:地球科学版,2003(3):355-359.

[5] 周中,傅鹤林,刘宝琛,等.土石混合体渗透性能的正交试验研究[J].岩土工程学报,2009(9):1134-1138.

[6] 钱家欢.土力学[M].南京:河海大学出版社,1995.

[7] GB/T50123—1999,土工试验方法标准[S].

(收稿日期:2009-05-26 编辑:方宇彤)