

试验研究

柴油在活性炭改良土中迁移的试验模拟研究

李 越,赵 康,王瑶瑶,王华敬,谭秀翠

(山东农业大学水利土木工程学院,山东 泰安 271000)

摘要:近年由于石油泄漏引起的地下水污染事故频发,为了探寻阻碍柴油下渗,降低地下水遭受污染的概率,通过土柱试验研究柴油在活性炭改良土中的迁移下渗规律。结果表明,同密度、同含水率的改良土中柴油的下渗速率比纯土的更慢,下渗深度更浅;吸附作用更强,多 74%;活性炭对减慢柴油下渗速率有明显作用,慢 50%;较大的孔隙比有利于截留柴油;对于同一含水率、表面积相同的改良土,密度越大,柴油下渗速率越慢,渗流量越小。本结论对石油管道的铺设,保护地下水有积极的工程意义。

关键词:活性炭改良土;密度;孔隙比;表面积;吸附与截留

中图分类号:X74

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2017)04-0029-05

EXPERIMENTAL STUDY ON THE MIGRATION OF DIESEL OIL IN ACTIVATED CARBON MODIFIED SOIL

LI Yue, ZHAO Kang, WANG Yao-yao, WANG Hua-jing*, TAN Xiu-cui

(College of water conservancy and civil engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract: In order to explore the possibility of reducing the infiltration of diesel oil and reducing the pollution of groundwater because of groundwater pollution accidents caused frequently by oil spills recently, The migration and infiltration of diesel oil in activated carbon modified soil was studied by soil column experiment. The results show that the infiltration rate of the diesel oil with the same density and the same water content is lower than that of the pure soil, the infiltration depth is more shallow, and the adsorption effect is stronger (more than 74%). The activated carbon has a significant effects on the reduction of diesel infiltration rate (slow nearly half); The effect of large void ratio on diesel oil's interception is obvious; For the improved soil with same water content and surface area, The greater the density, the lower the infiltration rate, the smaller the infiltration rate. The conclusions are of great significance to the construction of oil pipelines and the protection of groundwater.

Key words: activated carbon modified soil; density; void ratio; surface area; adsorption and retention

地下水是水资源的重要组成部分,是人类生存、生活和生产活动必不可少的自然资源。多年来由于石油及其化工产品使用及管理上的缺陷,原

油、汽柴油、苯系物等泄漏对地下水水质造成了极大的隐患。一方面是来自石油开采、运输、冶炼等过程构成的污染,另一方面是深埋于地下的储油罐年久失修,造成油品缓慢渗入土壤,蓄水层严重污染,致使居民饮用水供应受到威胁。目前世界各地地下水普遍存在这一问题,我国也未能幸免^[1-3]。石油进入河流、湖泊或地下水后,其含量超过了水

收稿日期:2017-04-20

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金(20133702120016);国家科技支撑计划资助项目 2015BAB07B05

第一作者简介:李越(1995-),男,在校本科生,水文与水资源工程专业。

体的自净能力,使水质和底质的物理、化学性质或生物群落组成发生变化,从而降低了水体的使用价值和使用寿命。因此研究石油类污染物的下渗特性对阻碍其下渗,保护地下水是至关重要的。近年来,众多学者开展了对柴油下渗的实验研究。Wang Yunqiang 等研究了原油和柴油在原状黄土中的渗透特性^[4]。张博文研究了原油在3种土壤不同含水率时的入渗^[5]。李永霞等通过土柱模拟实验研究了柴油在不同含水率的砂土及壤土中的入渗迁移及残留特征^[6]。李龙媛等研究了石油类污染物在黏性土壤中的垂直分布规律^[7]。纪学雁等用分层土柱法研究了石油类污染物在土壤中的迁移^[8]。赵东风等研究了石油类污染物在土壤中的迁移渗透规律^[9]。还有不少学者针对土壤中石油类污染物的清除进行了研究。张景环等通过静态吸附实验,研究土壤对十二烷基苯磺酸钠(LAS)和十六烷基三甲溴化铵(CTAB)的吸附行为,探讨表面活性剂对柴油吸附的影响^[10]。李莎莎研究了表面活性剂对土壤中石油类污染物的洗脱效果^[11]。

以上学者均是对石油类污染物在素土中的入渗迁移规律的研究,但对石油类污染物在改良土

中的入渗迁移规律的研究鲜有报道。本文首先研究活性炭改良土对石油的吸附截留效果的有效性,然后以活性炭改良过的粉质黏土为研究对象,研究活性炭改良土对柴油的下渗速率、下渗深度、截留量(吸附量)的影响。通过研究,找出影响柴油下渗的重要因素,以期寻求阻止柴油下渗的优化方案,对柴油在地下管道输送过程中防渗垫层的设计和石油相关企业的地基处理提供参考,达到保护地下水环境的目的。

1 材料与方法

1.1 实验材料和装置

实验用土取自德州某地,液限含水率为32.2%,塑限含水率为19.3%,塑性指数为12.9,颗分试验曲线见图1,定名为粉质黏土。实验用砂为标准砂(2 mm)。土样经105℃烘干、除杂、碾碎,过2 mm筛,土粒相对密度为2.72,氮气吸附测定的比表面积为4.48 m²/g。实验用活性炭的相对密度为0.89,氮气吸附测定的比表面积为245.54m²/g。实验装置采用有机玻璃管,管长30 cm、内径4.8 cm,管外壁标有刻度。

1.2 实验方案

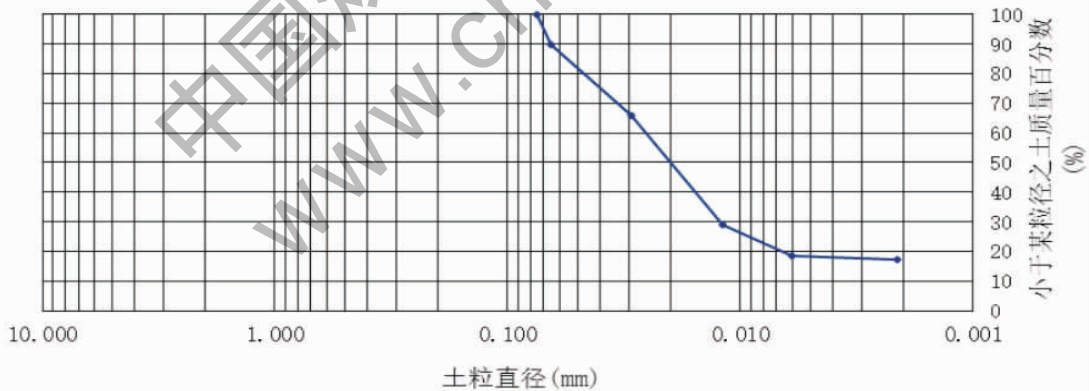


图1 颗粒大小分布曲线

1.2.1 活性炭改良土有效性试验(以下称试验a)

为研究活性炭改良土对柴油下渗的影响,设计密度均为1.5 g/cm³的改良土与纯土进行柴油下渗实验。改良土中活性炭取1/9干土质量,均配置成含水率为16.7%(纯土的最优含水率)的混合样,静置24 h,待各种组分混合均匀。装样前先在每个实验管底部装填2 cm厚标准砂,以便给下渗的柴油留出足够的空间,然后将土样分别装入两个实验管,装样均从下端0 cm刻度线开始,土

样平均分三次装入,每装好一层就将其压实,然后刮毛防止出现人为分界面再装下一层,装样高度均为23 cm,装样完成后在土柱顶部覆盖1 cm厚标准砂以减弱柴油的注入对土柱表面的冲刷作用。

取30 g柴油,实验初期,取其中一定量柴油,一次性注入实验管并使土柱顶部有2 cm油头(含标准砂层),在实验过程中用注射器往土柱顶部持续供油,维持2 cm油头,在柴油渗过标准砂层刚

触及 23 cm 刻度线时开始计时,柴油每下渗 1 cm 计时一次。直至 30 g 柴油完全注入实验管后,随着柴油下渗,油头逐渐降低,待油头降至 1.5 cm、1.2 cm 及 0 cm 后分别记录其下渗深度。

1.2.2 改良土内定量柴油入渗试验(以下称试验 b)

1.2.2.1 由体积变化引起的密度的影响(试验 b1)(表面积不变,压实度的影响)

为研究改良土密度(总质量不变体积变化)对柴油下渗速率影响,取相同质量的干土三份,活性炭均取 1/9 干土质量,均配成含水率为 16.7% 的混合样,静置 24 h,待各种组分混合均匀。装样方法与实验 a 相同。三个实验管内土样分别压至 25 cm、23 cm、21 cm 高,其对应密度依次为 1.27 g/cm³、1.38 g/cm³、1.51 g/cm³。

1.2.2.2 质量变化引起的密度的影响(试验 b2)(表面积的影响)

为研究改良土的密度(1.40 g/cm³、1.33 g/cm³、1.27 g/cm³,体积不变总质量变化)、活性炭及孔隙比(0.5、0.6、0.7)对柴油的作用,取三份不同质量的纯土,活性炭均取 1/9 干土质量,均配置成含水率为 16.7% 的混合样,静置 24 h 后,每次控制装样高度均为 25 cm,其它指标与方法步骤与实验 a 完全相同。

实验 b 均为定量柴油下渗,每个实验管均取 20 g 柴油,将柴油一次性注入实验管,迅速密封实验管上部防止柴油挥发,待柴油渗过标准砂层刚触及最上端刻度线时开始计时,柴油每下渗 1 cm 计时一次,待柴油下渗不明显时停止计次,同时观察记录土柱顶部的柴油含量。

2 试验结果与分析

2.1 活性炭改良土对柴油下渗速率及深度的影响(实验 a)

2.1.1 活性炭改良土对柴油下渗速率的影响

图 2 为实验 a 中改良土和纯土中柴油下渗曲线。实验初期土柱顶部维持 2 cm 油头时两类土壤中的柴油均下渗超过 4 cm 深度。从图 2 中可以看出柴油在改良土中的下渗速率明显比在原样土中慢。这主要是由于改良土与纯土虽然密度相同,但改良土由于掺入了活性炭,平均粒径要比纯土小,有研究^[12]表明,当介质粒径大时,孔隙多为大孔径,为污染物的迁移提供了通道,利于其迁移;相

反,介质中的小孔、微孔、死孔等不连通的孔隙会增加污染物迁移的迂曲度,形成“微孔调节效应”,阻碍污染物的迁移,因此改良土中柴油的下渗速率慢;同时,因为柴油入渗之后的吸附作用直接发生在改良土颗粒表面,由于改良土种活性炭的比表面积较土颗粒的比表面积大很多,因而提供的吸附位多^[13],使柴油在其中遇到的下渗阻力较纯土样大,从而使柴油在改良土中下渗速率大大减小。因而得出结论:活性炭改良土对减慢柴油下渗速率具有明显作用。

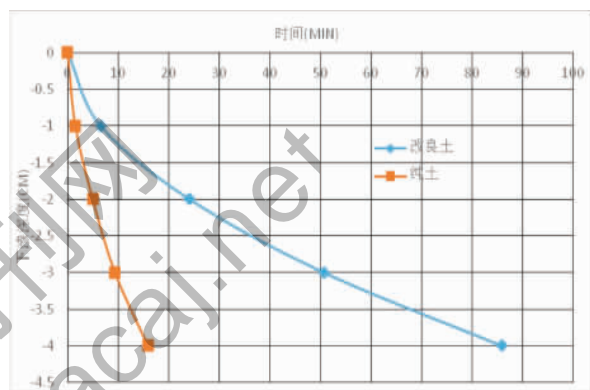


图 2 改良土和纯土中柴油下渗曲线(实验 a)

2.1.2 活性炭改良土对柴油下渗深度的影响

实验 a 中,待 30 g 柴油全部注入实验管中后,土柱顶部柴油随着下渗逐渐减少,直至 30 g 柴油完全下渗。图 3 为柴油下渗至不同时刻改良土和纯土中的油头(定义为土样上面柴油的高度)及下渗深度关系。从图 3 中看到:任意时刻改良土中柴油下渗深度均比纯土小。这是因为,柴油入渗之后的吸附作用直接发生在改良土颗粒表面,由于改良土的颗粒较纯土细小,其颗粒的比表面积就大很多,提供的吸附位多^[13],使得改良土对柴油有较强的吸附和截留作用。

24 h 后 30 g 柴油已经全部入渗,此时柴油下渗深度已基本稳定不变,改良土中为 10.5 cm,纯土中为 18.4 cm。并且在改良中每 1 cm 土柱吸附柴油 2.85 g,在纯土中每 1 cm 土柱仅吸附柴油 1.63 g,改良土柱每 1 cm 吸附的柴油量比纯土柱多 74%。说明活性炭改良土对下渗的柴油具有明显的吸附作用,能够很好地阻碍柴油下渗。那也意味着倘若渗漏的油量一定,改良土中石油下渗污染的深度小于纯土的深度,相同的地下水位的话,污染地下水的风险大大降低。

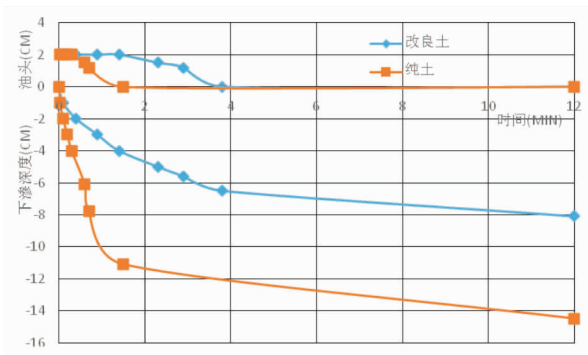


图 3 改良土与纯土中柴油下渗深度(实验 a)

2.2 改良土的密度对柴油下渗速率的影响(实验 b)

2.2.1 改良土体积变化对柴油下渗速率的影响(实验 b1)

图 4 为柴油在不同密度的改良土中的下渗曲线。随压实度增大,改良土三个密度分别为 1.27 g/cm^3 、 1.38 g/cm^3 、 1.51 g/cm^3 , 每个密度下的改良土壤所有成分质量相等, 具有相同的含水率和表面积。图 4 表明, 密度越大, 柴油下渗速率越慢。这是由于改良土密度越大, 颗粒间孔隙较小, 孔隙的连通性较差, 反之密度越小, 颗粒间孔隙较大, 孔隙的连通性较好, 因此柴油在密度大的改良土中下渗较困难。并且, 当柴油下渗到同一深度时, 随密度的增大, 土柱顶部遗留的柴油量越多, 即柴油的下渗量越小, 这与 Wang Yunqiang 等^[1]的结论是一致的, 即密度越大, 下渗速率越慢, 渗流量越小。

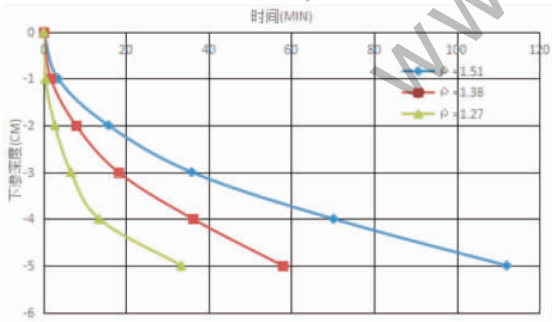


图 4 不同密度的改良土中柴油的下渗曲线(实验 b1)

2.2.2 改良土质量变化对柴油下渗速率的影响(实验 b2)

图 4 是密度为 1.27 g/cm^3 、 1.33 g/cm^3 、 1.40 g/cm^3 的改良土的下渗曲线。土样的装样总体积不变, 增加纯土的质量, 由于活性炭与纯土的相对质量不变, 所以随着密度的增大, 活性炭的质量也随之增大, 依次为 44.74 g 、 49.06 g 、 54.28 g , 因而改良土的表面积增大, 孔隙比减小。从图 5 中

可看出改良土密度的增大, 柴油下渗速率随之减小。密度为 1.27 g/cm^3 的改良土孔隙比较大, 因而截留柴油较多, 导致相同的时间内柴油下渗未达到 5 cm 。这说明对于同类土壤, 随着密度的减小, 空隙的增大, 下渗速率较快, 所以对于发生在疏松土壤的定量渗漏和较低的地下水水位的情况, 必须尽早进行处理; 但对于地下水水位较深的情况, 地下水受污染的风险则大为降低。

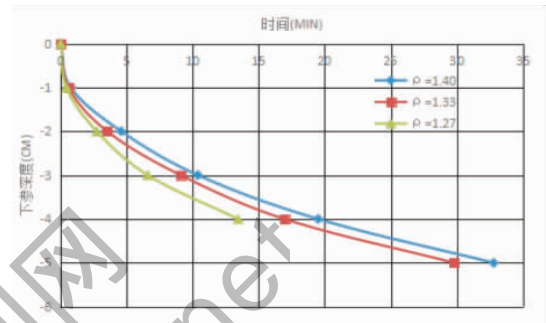


图 5 不同密度的改良土中柴油下渗曲线(实验 b2)

图 5 中密度为 1.38 g/cm^3 与图 5 中密度为 1.33 g/cm^3 的两条下渗曲线(以下称为曲线 1 和曲线 2)其对应改良土孔隙比依次是 0.91 和 0.98 , 活性炭质量依次是 56.98 g 和 51.54 g , 均相差不大。当柴油下渗至 5 cm 深度时, 曲线 1 下渗速率为 0.086 cm/min , 曲线 2 下渗速率为 0.168 cm/min , 前者下渗速率比后者慢大约一倍。这主要是由于二者活性炭含量不同所致, 虽然二者活性炭质量相差不大, 但由于活性炭的比表面积很大, 所以曲线 1 的改良土表面积较曲线 2 改良土要大很多, 从而使在其中下渗的柴油受到更大的吸附力, 导致曲线 1 下渗速率比曲线 2 慢大约一倍。这说明极少量活性炭就能有效减慢柴油下渗速率, 增大活性炭的含量对柴油的下渗将起到极大的抑制作用。

2.3 土壤孔隙对柴油下渗深度的影响(试验 a,b2)

图 6 为柴油在含水率、装样高度相同, 孔隙比为 0.5 、 0.6 、 0.7 时的改良土中下渗深度与时间的关系。密度越小孔隙比越大, 柴油下渗速度越快, 下渗到同一深度时所用时间应该变短。从图中可看出在下渗深度为 $1\text{--}4 \text{ cm}$ 时随孔隙比增大柴油下渗时间是逐渐变短的(正常下渗), 但在下渗深度为 5 cm 以后开始出现异常。在孔隙比为 0.5 、 0.6 、 0.7 的改良土中柴油正常下渗所能达到的深度依次为 6 cm 、 5 cm 、 4 cm , 且在孔隙比为 0.7 的

改良土中柴油只下渗了 5 cm。但随孔隙比增大改良土密度减小,改良土中活性炭含量随之减少,即当柴油下渗时被吸附的柴油量是减少的,理论上应有更多柴油下渗,正常下渗的最大深度应该更大,但实际却相反,这是因为改良土密度越小孔隙比越大,导致大量柴油被截留,才造成孔隙比越大柴油正常下渗最大深度较小这一结果。说明,较大的孔隙比对柴油具有明显的截留作用。

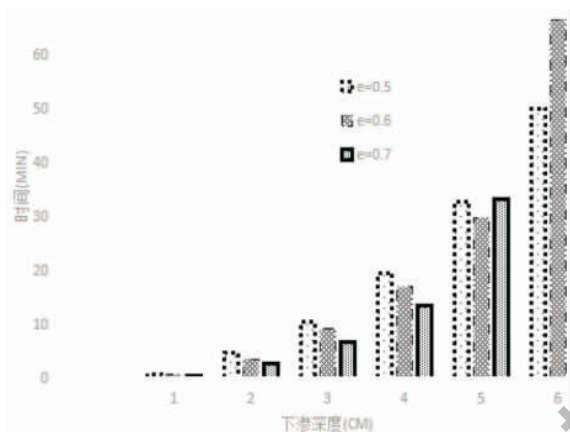


图6 不同孔隙比的改良土中柴油的下渗深度与时间

3 结论

通过土柱实验,研究了改良土柱与纯土柱相同油头的柴油迁移和不同密度的改良土柱中定量柴油的迁移试验,得到如下结论:

在密度、含水率相同的条件下,柴油在改良土中的下渗速率较纯土慢,下渗深度较纯土小,改良土能有效减缓柴油的下渗速率。

含水率、表面积相同的改良土,密度越大,柴油下渗速率越慢,渗流量越小;活性炭能有效的减慢柴油下渗速率。

活性炭改良土较纯土对柴油具有非常明显的吸附作用,活性炭含量越多,吸附作用越显著。

较大的土壤孔隙比有利于对柴油的截留。

4 相关建议

根据本文对阻碍柴油下渗的最优条件的探

寻,为防止柴油在地下管道输送过程中泄漏污染地下水,可对输油管道下的防渗垫层设计提出以下建议:

垫层的第一层由密度较大、活性炭含量较多的改良土组成,该层能够极大的减慢柴油下渗速率,并可以吸附大量柴油。

垫层的第二层由孔隙比较大的改良土组成,该层主要是截留吸附渗透过第一层的少量柴油,防止其污染地下水。

参考文献

- [1] 肖春宝,宁宁.石油化工企业地下水污染防渗,石油化工安全环保技术,2014,30(2):6-10.
- [2] 胡雪菲.生物碳对寒旱区石油污染黄上中多环芳烃吸附行为影响的研究[D].兰州交通大学,2015.
- [3] 纪巍.石油类污染物对水体生态环境的危害[J].化工中间体,2014,11:6-12.
- [4] WANG Yunqiang, SHAO Ming'an. Infiltration characteristics of non-aqueous phase liquids in undisturbed loessal soil cores[J].J Environmental Sciences,2009,21(10):1424-1431.
- [5] 张博闻,邵明安.初始含水率对土壤中原油入渗的影响[J].农业工程学报,2010,26(3):9-13.
- [6] 李永霞,郑西来.土壤非饱和带柴油迁移的模拟实验[J].环境化学,2014,33(11):1841-1847.
- [7] 李龙媛,罗泽娇,彭辉.石油类污染物在黏性土壤中的垂直分布规律[J].安全与环境工程,2014,21(2):57-62.
- [8] 纪学雁,刘晓艳,李兴伟,等.分层土柱法研究石油类污染物在土壤中的迁移[J].能源环境保护,2005,19(1):43-45.
- [8] 黄廷林,史红星,任磊.石油类污染物在黄土地区土壤中竖向迁移特性试验研究[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2001,33(2):108-111.
- [9] 赵东风,赵朝成,王联社,等.石油类污染物在土壤中的迁移渗透规律[J].石油大学学报(自然科学版),2000,24(3):64-66.
- [10] 张景环,曾溅辉.表面活性剂对柴油在土壤中吸附的影响[J].环境化学,2007,26(5):610-613.
- [11] 李莎莎,孙玉焕,胡学锋,等.表面活性剂对土壤中石油类污染物的洗脱效果研究[J].土壤,2016,48(3):516-522.
- [12] Braida W J, Pignatello J J, Lu Y F, et al. Sorption hysteresis of benzene in charcoal particles [J]. Environmental Science & Technology, 2003, 37(2): 409-417.
- [13] 杨宾,李慧颖,伍斌,等.4种NAPLs污染物在二维砂箱中的指进锋面形态特征研究[J].环境科学,2013,34(4):1545-1552.