

EN-1 固化剂对 4 种土壤饱和导水率的影响研究

丁小龙^{1,3}, 张兴昌², 窦晶晶¹, 郝振全³

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 水利部 水土保持生态工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100; 3. 宁夏环境保护厅, 宁夏 银川 750011)

摘要: 为了研究 EN-1 土壤固化剂的固化性能, 通过室内模拟实验对杨凌、安康、安塞和靖边 4 种土壤在不同固化剂掺量、养护龄期的固化进行了土壤饱和导水率影响的研究, 结果表明, 微量掺加 EN-1 固化剂就可以明显减小黄棕壤和塬土的饱和导水率, 饱和导水率随着培养龄期的增加而下降, 当培养期大于 14 d 时土样的饱和导水率近似为 0; 黄绵土与风沙土的饱和导水率随着固化剂掺量增加而减小, 培养龄期增大, 饱和导水率随之下降, 固化剂掺量为 1%, 培养期为 28 d 时黄绵土和风沙土的饱和导水率最低。

关键词: EN-1 土壤固化剂; 饱和导水率; 培养龄期

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)01-0132-03

中图分类号: S157.1, X522

Effects of EN-1 Solidifying Agent on Saturated Hydraulic Conductivity of Four Soils

DING Xiao-long^{1,3}, ZHANG Xing-chang², DOU Jing-jing¹, HAO Zhen-quan³

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Research Centre on Soil and Water Conservation, Ministry of Water Resources, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi

712100, China; 3. Environmental Protection Bureau of Ningxia Province, Yinchuan, Ningxia 750011, China)

Abstract: In order to estimate soil solidification performance of EN-1 solidifying agent, saturated hydraulic conductivities for four types of soils collected from Yangling, Ankang, Ansai, and Jingbian in Shaanxi Province were investigated by indoor simulation test with different solidifying agent contents and curing ages. Results indicated that traces of EN-1 solidifying agent added in the tests can considerably reduce saturated hydraulic conductivities of yellow brown soil and Lou soil. The saturated hydraulic conductivities decreased rapidly with the increased curing age and dropped to zero when curing age was more than 14 days. Saturated hydraulic conductivities of loessal soil and sandy soil decreased not only with the increased addition of the solidifying agent, but also with the increased curing age. The saturated hydraulic conductivities of loessal soil and sandy soil were the lowest at the 1% EN-1 solidifying agent after 28 days curing.

Keywords: EN-1 solidifying agent; saturated hydraulic conductivity; curing age

土壤水分含量对土体的稳定性有很大的影响, 特别是在裸露的公路边坡上, 雨水的渗入会导致地基变形、不均匀沉降、滑坡等现象, 大大地降低了公路边坡的稳定性。因此, 对土壤水分运动的控制好坏可以影响到公路等建筑物的使用寿命。土壤的水力学性质对土壤水分的运动有直接的影响^[1], 土壤饱和导水率可以很好地反映土壤入渗和渗流性质^[2], 它与土壤粒径组成、密度、有机质含量等理化性质有关^[3]。其次, 土壤饱和导水率与土壤的透气性、入渗性能、溶质迁移等因子有很大的关联^[4], 植被的成活、生长与以上因子也有很大关系, 因此土壤饱和导水率间接影响到

了植物的生长^[5]。本文通过研究固化剂对黄棕壤、黄绵土、风沙土、塬土 4 种土壤的饱和导水率的影响, 为固化剂的使用提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验选用的路邦 EN-1 固化剂, 是由美国 C. S. S 技术公司生产, 由溶解能力很强的酸性溶剂、天然分散剂和氧化剂组成的合成物。路邦 EN-1 固化剂属于酸基化合物, 是一种浓缩状态下无挥发性、有强烈刺激性酸味、不燃烧、有腐蚀性、溶于水的酱黑色液

体,一经稀释,则是无毒、无公害、无污染、不破坏生态环境的高分子复合材料^[6]。硫酸含量 $>1\%$,表面活性剂含量 6% ,沸点 $282\text{ }^{\circ}\text{C}$,密度 1.709 g/cm^3 , $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时比重为 1.70 ,pH 值 1.05 ,挥发率 $<1\%$ ^[7]。路邦 EN-1 土体固化剂用来固化土体,实际上是固化剂对土体中的成分发生分解—化合—重新结晶的化学反应,最终使土体形成一定的强度,改善其工程性质^[8]。

试验用土壤为黄棕壤(陕西安康)、黄绵土(陕西安塞)、风沙土(陕西靖边)、瘠土(杨凌),取土深度范围为 $10\text{—}100\text{ cm}$ 。

试验前将土样混匀风干,过 2 mm 筛备用,先测定其基本物理指标,按照《土工试验方法标准(GB/T50123—1999)》和《土壤理化分析》进行其基本测定。各种供试土壤的性质见表 1。

表 1 供试土壤的性质

土 样	液限 $W_L/\%$	塑限 $W_P/\%$	塑性指数 I_P	颗粒组成($\%$)			pH 值	有机质/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	土 质
				砂粒	粉粒	黏粒			
黄棕壤	46	24	22	50.40	36.02	13.58	6.87	3.1	黏土质砂
黄绵土	30	17	13	66.84	26.24	6.74	8.35	0.6	粉土质矿
风沙土	26	13	13	91.84	6.62	1.54	8.56	14.6	细粒土矿
瘠 土	26	16	10	36.08	51.73	12.19	8.03	4.5	低液限黏土

注:土质是根据《土的分类标准 GBJ145—90》。

1.2 试验设计与方法

试验设计固化剂掺量(0.01% , 0.05% , 0.10% , 1%)和养护龄期($7,14,21,28\text{ d}$) 2 个因素;压实度为 0.95 ^[9],各种土样的最优含水率分别是黄棕壤 18.9% ,黄绵土 12.5% ,风沙土 12.6% ,瘠土 17.6% 。

根据设定的固化剂掺入比、土壤的最优含水率、压实度制备试样,按照预先设定的培养期培养试样,待培养期满后,用环刀(截面积 10 cm^2 ,高 10 cm)采取培养土,将垫有滤纸的底筛网盖好,带回室内,将环刀浸入水中(水面不能超过环刀顶部)直至土壤饱和,环刀顶部土壤有水膜析出。待土样饱和后,去掉盖子,上面套一个空环刀,接口处用橡皮套连接封紧,严防接口处有水漏出,然后将连接好的环刀放在玻璃漏斗上,漏斗下放置烧杯,上面的空环刀内加水,保持水面与环刀顶部持平或稍低于环刀顶部,确保水不外溢。加水后,自漏斗开始漏水计时,根据每种土样漏水快慢的不同,设定时间间隔,按照间隔时间更换烧杯,并记录每次滴下水量 $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ 。每次更换烧杯后都将上面空环刀的水面加至原来高度,同时记录水温。

2 结果与分析

导水率 K (hydraulic conductivity) 是表示孔隙介质透水性能的综合参数,即单位水势梯度下水的通量密度或渗流速度;土壤中的饱和水流是土壤中水运动的经典形式,表示土壤介质中饱和水流运动的最大能力,这种饱和水流在土壤中的运动能力制约着地表径流的产生与发展^[10]。

2.1 EN-1 固化剂对 4 种土壤饱和和导水率的影响

表 2 为不同固化剂掺量下,不同养护时间 4 种土

壤的饱和和导水率。微量掺加 EN-1 固化剂就可以明显影响黄棕壤的饱和和导水率,随着固化土培养期的增加,其饱和和导水率下降明显,当培养期大于 14 d 时土样的饱和和导水率近似为 0 。黄绵土的饱和和导水率随着固化剂掺量增加而减小;培养期不断增大,饱和和导水率随之下降。风沙土的饱和和导水率随着固化剂掺量的增加而下降,随着培养期的延长而下降。瘠土的饱和和导水率随着固化剂掺量的增加有明显的下降;随着培养期的增加,其饱和和导水率下降明显,当培养期大于 14 d 时,其饱和和导水率近似为 0 。

表 2 4 种土壤饱和和导水率

土壤类型	固化剂掺量/ $\%$	饱和和导水率($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$)			
		7 d	14 d	21 d	28 d
黄棕壤	0	0.091	0.090	0.090	0.094
	0.01	0.010	0	0	0
	0.05	0.007	0	0	0
	0.10	0.002	0	0	0
	1.00	0	0	0	0
黄绵土	0	0.030	0.030	0.029	0.029
	0.01	0.024	0.020	0.015	0.011
	0.05	0.022	0.018	0.012	0.011
	0.10	0.017	0.016	0.012	0.011
	1.00	0.017	0.013	0.012	0.008
风沙土	0	0.410	0.410	0.410	0.410
	0.01	0.380	0.330	0.270	0.230
	0.05	0.280	0.270	0.210	0.190
	0.10	0.280	0.260	0.170	0.150
	1.00	0.180	0.160	0.140	0.120
瘠 土	0	0.026	0.027	0.027	0.027
	0.01	0.026	0	0	0
	0.05	0.022	0	0	0
	0.10	0.015	0	0	0
	1.00	0.002	0	0	0

2.2 EN-1 固化剂对 4 种土壤饱和导水率的影响分析

EN-1 土壤固化剂含有活性磺化油,加入土壤后,疏水基从土壤颗粒中排出,在土壤颗粒或黏土之间形成油面层,土壤中的结合水就被疏水基排出,破坏了土壤颗粒之间的吸附水膜,提高了土壤颗粒间的吸附力^[11-12]。同时,固化剂加入土壤中经过搅拌后,固化剂中的酸性物质可以激发土壤之间的活性物质自身发生反应生成胶结物质或形成网络,增大了土体之间的连接力。土壤颗粒间的吸附力与土体的连接力越大,土壤孔隙就越小,可以阻止水分自由出入。

土壤中存在着 2 种不同的水,分别是动水与静水。静水在重力作用下不运动,但可在渗透力的作用下运动^[13]。黄棕壤与壤土黏粒含量高,分别为 13.58%与 12.19%,掺加 EN-1 固化剂后,可以与固化剂成分充分反应,通过离子交换、氧化反应等物理和化学反应,外加机械压力,可以将土壤中动水及结合水、毛细管水等静水排出,减少了土壤含水率,同时也增加了土壤的耐水性,使土壤形成了一个整体,阻止了水分自由进出土体,所以 EN-1 固化剂就可以明显影响这 2 种土壤的饱和导水率。黄绵土与风沙土其黏粒较低,分别为 6.74%与 1.54%,砂粒含量很大,分别为 66.84%与 91.84%,颗粒与颗粒直接接触并且接触面积小、孔隙大,形成接触架空结构,这种结构饱水或干燥失水时就无连接,但是在潮湿含水时,颗粒间有微弱的毛细水连接^[14]。EN-1 固化剂加入到这 2 种土壤中时没有足够、有效的介质来参与反应,但是固化剂与部分少量的有机质反应可以生成胶结物存在于颗粒间接触处,将土壤颗粒胶结在一起,并且可以保存部分动水在颗粒间。所以这 2 种土样在掺加 EN-1 固化剂后其饱和导水率有一定程度的下降,但是,这种胶结作用不强,在施加了一定的压力后这种胶结作用就显的薄弱,其在机械力的作用下,保存的水分就流失了。

3 结论

在掺加固化剂后黄棕壤和壤土的饱和导水率变化明显,它们随着固化剂掺量的增加不断减小,当培养期 ≥ 14 d 时,固化土几乎不透水,饱和导水率近似为 0。

黄绵土和风沙土的饱和导水率随着固化剂掺量增加而减小,随着培养期的延长而下降;固化剂掺量为 1%,培养期为 28 d 时黄绵土和风沙土的饱和导水率最低。

[参 考 文 献]

- [1] 胡克林,李保国,陈研. 表层土壤饱和导水率的空间变异对农田水分渗透的影响[J]. 水利学报, 2006, 37(10): 1217-1223.
- [2] 郑纪勇,邵明安,张兴昌. 黄土区坡面表层土壤容重和饱和导水率空间变异特征[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 53-56.
- [3] 李晓鹏,张佳宝,吉丽青,等. 土壤传递函数在计算土壤饱和导水率中的应用[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(2): 70-73.
- [4] 郑纪勇,邵明安,张兴昌. 黄土区坡面表层土壤容重和饱和导水率空间变异特征[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 53-56.
- [5] 贾小旭,邵明安,魏孝荣,等. 黄土高原北部草地区表层土壤水分状态空间模拟[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 38-44.
- [6] 李惠,毕宏宇,田月华. 美国路邦 EN-1 型土壤强固剂在无砂石和贫砂石地区的应用[J]. 黑龙江交通科技, 2009, 32(10): 22-23.
- [7] 张丽萍,张兴昌,孙强. EN-1 固化剂加固黄土的工程特性及其影响因素[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(4): 60-65.
- [8] 石坚,李昭鹏,赵宝. 路邦 EN-1 土体固化剂路用性能的试验研究[J]. 铁道建筑, 2009(8): 103-105.
- [9] 张丽萍,张兴昌,孙强. SSA 土壤固化剂对黄土击实、抗剪及渗透特性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 45-48.
- [10] 梁向锋,赵世伟,张扬,等. 子午岭植被恢复对土壤饱和导水率的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(2): 636-642.
- [11] 付晓敦,冯炜,王新岐. 路邦土壤固化剂固化土的工程性质试验[J]. 中国市政工程, 2009(6): 10-11.
- [12] 耿轶君. EN-1 土壤固化剂改良红砂岩的作用机理与路用性能研究[D]. 重庆:西南交通大学, 2009.
- [13] 王尚,张玉斌,卓建平. ISS 离子稳固剂稳定土反应机理及其应用探讨[J]. 公路, 2005(7): 192-194.
- [14] 李驰,于浩. 固化风沙土强度特性及固化机制试验研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(S2): 48-53.