

膨润土—水泥—木屑混合物的抗渗性能试验研究

刘立新, 雷志强, 毛景权, 王刚, 朱绍勋

(中交一公局桥隧工程有限公司, 湖南 长沙 410000)

摘要:使用膨润土—水泥固结体作为垂直防渗墙材料,具有良好的经济效益。该文尝试在水泥—膨润土泥浆中掺杂适量的木屑,并对膨润土—水泥—木屑在不同配合比下进行渗透试验,探究该混合物的渗透系数大小和考虑龄期时的渗透性能。结果表明:水泥和膨润土之间的比例对渗透系数的影响是相互的;木屑掺量较少时,混合物渗透系数随着木屑的增加基本不变,只有当木屑的掺量达到一定量时,混合物渗透系数随着木屑的增加而增大;随着龄期的增加,混合物渗透系数逐渐减小。此混合物可作为一种防渗材料应用于基坑工程的止水与灌注桩护壁材料,可有效节约工程成本。

关键词:膨润土—水泥—木屑混合物;渗透试验;渗透系数;防渗性能

膨润土具有良好的防渗能力,其可以作为水库、泥浆护壁、防水毯、盾构隧道、垃圾填埋场防渗墙、沥青道路等结构的防渗材料。为进一步增强膨润土的防渗性能以及强度,徐超等将膨润土掺入水泥形成固结泥浆并通过渗透试验说明其具有良好的渗透性能;水泥—膨润土泥浆亦在坝基帷幕、石坝防渗系统、搅拌桩、垃圾填埋场中得到广泛的应用。水泥—膨润土泥浆不仅具有良好的渗透性,而且具有较高的强度。作为钻孔灌注桩护壁防渗材料,往往对渗透性要求高,对强度要

求不高。从工程造价的角度上看,可以减少水泥的用量来降低水泥—膨润土泥浆的强度,然而,减少水泥的用量直接导致水泥—膨润土泥浆渗透系数的增加,从而不满足材料的渗透性要求。

该文在水泥—膨润土固结体中掺入木屑,探讨水泥—膨润土—木屑混合物的渗透性,进行不同配合比的渗透试验,研究膨润土、水泥、木屑三者之间的含量变化以及龄期对渗透系数的影响,提出不同膨润土—水泥—木屑混合物配比的适用性。木屑的密度远低于

参考文献:

- [1] Chen ZH, Zhang HL, Duan HH. Investigation of Ultraviolet Radiation Aging Gradient in Asphalt Binder[J]. Construction and Building Materials, 2020.
- [2] Chen ZW, Wu SP, Xiao Y, et al. Effect of Hydration and Silicone Resin on Basic Oxygen Furnace Slag and its Asphalt Mixture[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 112:392—400.
- [3] Pérez—Jiménez F, Miró R, Martínez A, et al. Analysis of the Mechanical Behaviour of Bituminous Mixtures at Low Temperatures[J]. Construction and Building Materials, 2013, 46:193—202.
- [4] Liu JY, Sun YR, Wang WY, et al. Using the Viscoelastic Parameters to Estimate the Glass Transition Temperature of Asphalt Binders[J]. Construction and Building Materials, 2017, 153:908—918.

- [5] 杨文锋, 赖跃. 消石灰对沥青胶浆及沥青混合料体积性能的影响[J]. 硅酸盐通报, 2015(增刊).
- [6] 朱红斌. 消石灰改性沥青混合料的原理[J]. 科学技术创新, 2018(16).
- [7] 张祥, 李晓林, 郑广宇, 等. 消石灰提高沥青与酸性石料粘附性机理的研究[J]. 中外公路, 2013(4).
- [8] 李萍, 张盼, 念腾飞, 等. 消石灰和水泥改性沥青混合料的路用性能[J]. 兰州理工大学学报, 2018(2).
- [9] 吕捷. 改性沥青的紫外老化研究[J]. 石油沥青, 2014(4).
- [10] 朱凯, 黄志义, 吴珂, 等. 消石灰对沥青阻燃性能的影响[J]. 浙江大学学报(工学版), 2015(5).
- [11] 王前进. 秸秆发电和气化残余物作为基质和肥料的应用研究[D]. 南京农业大学硕士学位论文, 2009.
- [12] Zhang HL, Zhu CZ, Yu JY, et al. Influence of Surface Modification on Physical and Ultraviolet Aging Resistance of Bitumen Containing Inorganic Nanoparticles[J]. Construction and Building Materials, 2015, 98:735—740.

水泥和膨润土的密度,止水时灌注体积相同的情况下,木屑所用的质量要比水泥和膨润土所用的质量少,由于水泥每吨的价格高于木屑,木屑每吨的价格和膨润土相近,所以用木屑取代部分水泥和膨润土,可以降低工程造价,为今后类似工程应用提供参考依据。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

水泥—膨润土—木屑混合物的基本材料是木屑、水泥、膨润土,此次试验采用钠基膨润土,其基本性能指标如表 1 所示;水泥采用强度等级为 42.5 级的普通硅酸盐水泥,其优点有耐磨和抗冻性好、早期强度高、干缩小等;木屑采用杉木加工剩下的锯末粉料,其压实的密度为 0.51 g/cm³,木屑颗粒级配曲线如图 1 所示。

表 1 膨润土的基本性能指标

吸蓝量/ [g·(100g) ⁻¹]	胶质价/[mL· (15g) ⁻¹]	膨胀容/ (mL·g ⁻¹)	含水率/ %
80.5	98.0	13.0	9.3

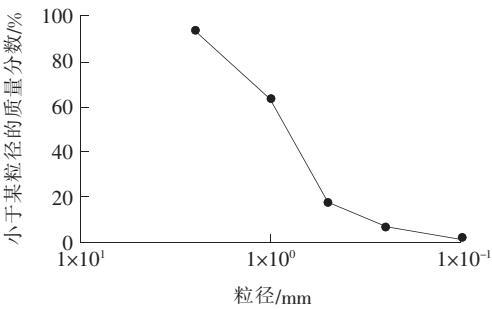


图 1 木屑颗粒级配曲线

1.2 配合比方案

为了解膨润土、水泥和木屑 3 种原材料变化对膨润土—水泥—木屑混合物渗透系数的影响,控制各组试样中水的质量为固体(膨润土、水泥、木屑)总质量的 50%,试验分为 3 组,各组配合比如下:

第 1 组:保持水泥与木屑质量不变(水泥质量 220 g、木屑质量 90 g),研究膨润土含量变化对该混合物渗透系数的影响,根据膨润土为水泥质量的 1~8 倍,确定膨润土的质量,具体配合比如表 2 所示。

第 2 组:保持膨润土与木屑质量不变(膨润土质量 1 760 g、木屑质量 90 g),研究水泥含量变化对该混合物渗透系数的影响,具体配合比如表 3 所示。

表 2 膨润土变化的配合比

编号	膨润土/g	水泥/g	木屑/g
A1	220	220	90
A2	440	220	90
A3	660	220	90
A4	880	220	90
A5	1 100	220	90
A6	1 320	220	90
A7	1 540	220	90
A8	1 760	220	90

表 3 水泥变化的配合比

编号	膨润土/g	水泥/g	木屑/g
B1	1 760	55	90
B2	1 760	110	90
B3	1 760	165	90
B4	1 760	220	90
B5	1 760	275	90

第 3 组:保持水泥与膨润土质量不变(水泥质量 220 g、膨润土质量 1 760 g),研究木屑含量变化对该混合物渗透系数的影响,具体配合比如表 4 所示。

表 4 木屑变化的配合比

编号	膨润土/g	水泥/g	木屑/g
C1	1 760	220	45
C2	1 760	220	90
C3	1 760	220	135
C4	1 760	220	180
C5	1 760	220	225

1.3 试验方法

由于膨润土—水泥—木屑混合物的性质与硬黏土类似,其渗透系数较小,所以此次采用变水头法进行渗透试验,测定该混合物的渗透系数。试验仪器采用 TST-55 型渗透仪。TST-55 型渗透仪由上盖、底座、套座、环刀、透水石、螺杆等组成;变水头装置由渗透容器、变水头管、供水瓶、进水管等组成,管径为 0.5 cm,长度为 1 m。

试样尺寸为 $\phi 61.8\text{ mm}\times 40\text{ mm}$ (截面面积为 30 cm²)。试样制备时,把水泥、膨润土、木屑按照相应的配合比进行拌和,拌和均匀后装入涂有凡士林的制样器中,挤密压实后把试样放入饱和器内抽气饱和,各配

比制备 4 组试样,每组 2 个试样。试样放在标准室内分别养护 1、7、14 和 28 d,养护完成后把试样放入 TST-55 型渗透仪,把含有透水石、垫圈的上下盖盖好,并打开止水夹及进水管夹,排出容器底部的空气;在测量阶段,向玻璃管注水,注水达到一定高度并待其稳定后,开启进水管夹,当渗透仪出水管的水流出时记录起始水头 H_1 ,经过时间 t 后,记录终止水头 H_2 ,反复测记 2~3 次后,让变水头管水位回升,再测记 6 次后终止。记录开始时与终止时的水温。

运用以上操作步骤测定每组配比试件在 4 个龄期的渗透系数,渗透系数根据以下公式求得:

$$K = 2.3 \times \left(\frac{aL}{At} \right) \lg \left(\frac{H_1}{H_2} \right) \quad (1)$$

式中: A 为试样断面面积; H_1 为起始水头; H_2 为终止水头; L 为试样长度; t 为时间变化量(s); a 为玻璃管断面面积。

2 试验结果与分析

2.1 膨润土含量变化的渗透特性

根据式(1)计算得到编号 A 配合比的渗透系数,得到膨润土用量变化对渗透系数影响图,如图 2 所示。

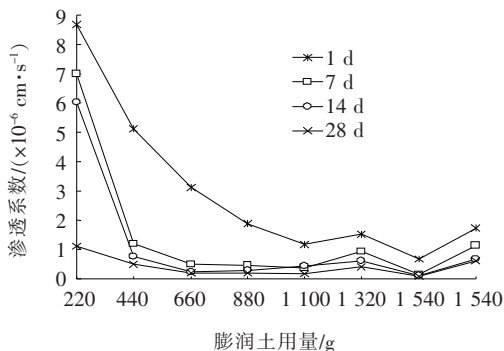


图2 膨润土含量变化对渗透系数的影响

从图2可以看出:① 当膨润土的用量为 1 100 g 以下时,随着膨润土用量的增加,混合物渗透系数逐渐减小;当膨润土的用量为 1 320 g 以上时,混合物各配合比的渗透系数随着膨润土用量的增加而略有增加;当膨润土的用量从 220 g 变为 440 g 时,混合物的渗透系数急剧减小,减小幅度在龄期为 1、7、14 和 28 d 时分别为 47.48%、87.80%、94.02%、65.31%;② 随着龄期的增加,混合物的渗透系数都减小,但是减小的趋势不同,当膨润土的用量不大于 220 g 时,混合物的渗透系数从龄期 14 d 到 28 d 的减小幅度最大;当膨润土的用量大于 220 g 时,混合物的渗透系数从龄期 1 d 到

7 d 的减小幅度最大,7 d 龄期以上混合物的渗透系数变化量很小,趋于稳定。

膨润土的主要成分是蒙脱石,膨润土水化后表面的负电荷与水泥释放出的正电荷结合,使蒙脱石晶体的间距变小,这个过程会产生结合水,产生的结合水参与水泥的硬化反应形成硬凝产物。同时,水泥水化产生硅酸钙凝胶,硬凝产物与硅酸钙凝胶两者连接膨润土和水泥颗粒。另外,未反应的膨润土填充于水泥石骨架中,提高了结构的致密性,进而提高防渗性能。

从图2可知:膨润土的用量对渗透系数产生比较大的影响。当膨润土的含量比较低时,膨润土含量的增加对渗透性的影响较大,因为水泥石骨架不密实,膨润土可填充于水泥石骨架中,强度比较高,降低了混合物的渗透性能。但是当膨润土用量一直增加并不能有效地降低混合物的渗透性,渗透系数反而会略有增大。因为当膨润土充满了水泥石骨架以后,增加的膨润土并不会与水泥发生反应,而膨润土的渗透系数比较大,所以,当膨润土用量过多时,混合物的渗透系数会略有增大。

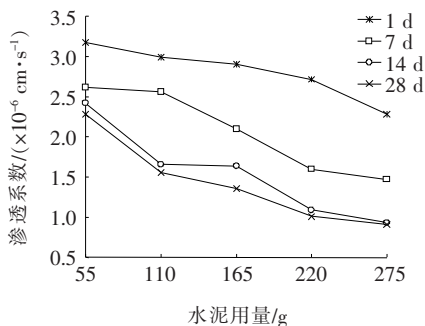


图3 水泥用量变化对渗透系数的影响

2.2 水泥含量变化的渗透特性

根据式(1)计算得到编号 B 配合比的渗透系数,水泥用量变化对渗透系数的影响如图 3 所示。

由图3可知:水泥用量越多,混合物的渗透系数越小;随着龄期的增加,混合物的渗透系数逐渐减小;水泥含量高时,龄期对渗透系数的影响越大,渗透系数是龄期为 1~7 d 的减小幅度最大,以后龄期对渗透系数的影响逐渐减小,直到稳定。

从图3和以上分析可知:水泥含量对渗透系数产生较大的影响。当水泥用量较少时,其产生的水化产物少,水泥石骨架结构刚度比较小,膨润土填充于其中,降低了渗透性能。随着水泥含量的增加,水泥水化产物变多,与膨润土反应生成更多的胶凝产物,同时,水泥石骨架刚度比较强,能填充更多的膨润土,大大降

低了混合物的渗透性能。

2.3 木屑含量变化的渗透特性

根据式(1)计算得到编号C配合比的渗透系数,木屑用量变化对渗透系数的影响如图4所示。

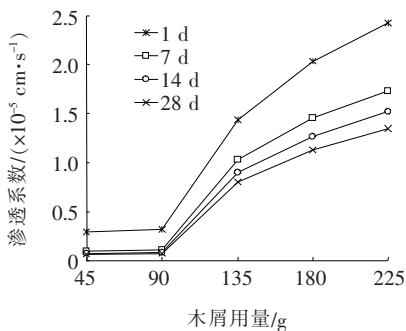


图4 木屑用量变化对渗透系数的影响

从图4可以看出:混合物的渗透系数随着木屑用量的增加而增加,然而,当木屑用量小于90 g时,木屑用量对渗透系数基本没有影响;养护早期混合物的渗透系数随养护时间增加而快速减小,龄期7 d以后渗透系数减小速率变小。

从图4和以上分析可知:当木屑含量比较少时,木屑可能对水泥骨架有一定的填充作用,虽然填充了水泥骨架,但是填充的木屑渗透系数比较大,所以少量的木屑对渗透系数影响不明显。但是当木屑的含量增加时,木屑的密实性小和渗透系数大导致了混合物的渗透系数随着木屑含量的增多而逐渐变大,木屑的添加减小了混合物的强度,增大了混合物的渗透系数。

3 结论

由膨润土-水泥-木屑混合物的渗透试验,得出下列结论:

(1) 膨润土-水泥-木屑混合物在4个龄期的渗透系数都小于 5×10^{-5} cm/s,当木屑的用量小于90 g时,膨润土-水泥-木屑混合物的渗透系数在4个龄期都小于 1×10^{-6} cm/s,根据土的渗透系数分类,该混合物属于极低渗透性土。

(2) 膨润土-水泥-木屑混合物的渗透性受到膨润土、水泥和木屑的综合影响。在水泥用量一定时,增

加膨润土用量可以减小渗透系数,当膨润土含量增加到100 g时,继续增加膨润土量对减小混合物的渗透系数不明显,反而会增大渗透系数。该混合物的渗透系数随着水泥含量的增加而减小,随着木屑含量的增加而增大。

(3) 膨润土-水泥-木屑混合物早期养护时渗透系数减小速率快,后期养护渗透系数减小速率慢。

(4) 膨润土-水泥-木屑混合物渗透性比较低,可作为灌注桩护壁材料以及基坑支护止水的填充材料,可减少水泥和膨润土的用量,节约工程成本,具有较高的经济效益。

参考文献:

- [1] 郭美富,杨磊,曾力,等.阳江核电站水库渗漏处理中灌浆材料的试验与设计[J].武汉大学学报(工学版),2012(5).
- [2] 兰凯,黄振国.优质膨润土泥浆在大直径深桩基工程中的应用[J].地质与勘探,2006(5).
- [3] 杨勇.复合钠基膨润土泥浆护壁机理及其工程应用[J].地下空间与工程学报,2010(4).
- [4] 王瑾.膨润土防水毯在深基坑工程中的应用[J].施工技术,2017(13).
- [5] 罗云峰,区希,张厚美.地铁隧道盾构法同步注浆用水泥砂浆的试验研究[J].混凝土,2004(178).
- [6] 刘长礼,王秀艳,张云.垃圾填埋场砂土衬垫中膨润土添加剂的防渗能力[J].地球学报,2000(1).
- [7] 杨春风,高恒楠,孙吉书.纳米膨润土改性沥青混合料路用性能试验研究[J].中外公路,2016(3).
- [8] 周立波.膨润土改性沥青混合料力学特性研究[J].中外公路,2019(3).
- [9] 徐超,黄亮,邢皓枫.水泥-膨润土泥浆配比对防渗墙渗透性能的影响[J].岩土力学,2010(2).
- [10] 王静.水泥膨润土混合浆液在铅厂电站坝基帷幕灌浆中的应用[J].中国农村水利水电,2011(8).
- [11] 刘健,胡南琦,徐宝军,等.水泥基土石坝防渗注浆材料试验[J].山东大学学报(工学版),2018(2).
- [12] 马聪,谭跃虎,李二兵,等.珊瑚礁地质条件下水泥土搅拌桩抗渗性能研究[J].岩土工程学报,2014(4).
- [13] 费培云,季嵘,张道玲,等.上海老港垃圾卫生填埋场隔离墙材料特性室内试验研究[J].上海地质,2005(4).