

机织/非织造复合土工布的底泥脱水性能研究

郭胤麟^{1,2} 黄 晨^{1,2}

1. 东华大学 纺织学院, 上海 201620;
2. 滨州魏桥国科高等技术研究院, 山东 滨州 256606

摘要:为解决当前高含水量底泥脱水效率低的问题,设计适用于底泥脱水土工管袋的机织/非织造复合结构。以 0.22 tex 疏水聚烯烃系纤维(ES 纤维)层为疏水层,聚丙烯平纹机织物为加筋中间层,分别与 0.20 tex 亲水 ES 纤维层、0.12 tex 黏胶纤维层、0.09 tex 黏胶纤维层进行叠层针刺复合,制备含蓬松疏水层和紧密亲水层的孔径/润湿双重梯度结构复合土工布。测试 3 种复合土工布试样的孔径分布、力学性能及底泥脱水性能。结果显示:3 种复合土工布试样的纵向断裂强力分别为 968.1、953.1 和 939.6 N,横向断裂强力分别为 802.5、868.0 和 853.8 N,顶破强力超过 2 000 N,力学性能良好;压力过滤试验中,3 种复合土工布试样的滤饼固含量均超过 75%;3 种复合土工布试样中,以 0.09 tex 黏胶纤维层为亲水层制备的复合土工布孔径最小,初始滤液流速最大,底泥颗粒透过量最小,底泥脱水性能最优。

关键词: 复合土工布;脱水性能;针刺;梯度结构;底泥治理

中图分类号:TS 176

文献标志码:A

文章编号:1004-7093(2025)02-0001-09

Study on performance of woven/non-woven composite geotextiles for sediment dewatering

Guo Yinlin^{1,2}, Huang Chen^{1,2}

1. College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China;
2. Binzhou Institute of Technology, Weiqiao-UCAS Science and Technology Park, Binzhou 256606, Shandong, China

Abstract: To solve the problem of low dewatering efficiency of high water content sediment, a woven/non-woven composite structure suitable for sediment dewatering geotextile tubes was designed. With 0.22 tex hydrophobic polyolefin fiber (ES fiber) layer as the hydrophobic layer and polypropylene plain woven fabric as the reinforced middle layer, the pore size/wetted double gradient geotextiles with a fluffy hydrophobic layer and a tight hydrophilic layer were prepared by needling with 0.20 tex hydrophilic ES fiber layer, 0.12 tex viscose fiber layer and 0.09 tex viscose fiber layer, respectively. The pore size distribution, mechanical properties and sediment dewatering performance of three composite geotextile samples were tested. The results showed that the longitudinal fracture strength of the three composite geotextile samples was 968.1, 953.1 and 939.6 N, the transverse fracture strength was 802.5, 868.0 and 853.8 N, and the bursting strength

收稿日期:2024-10-13

作者简介:郭胤麟,女,2000年生,在读硕士研究生,主要研究方向为污泥治理用土工布的开发

通信作者:黄晨,教授,hc@dhu.edu.cn

was more than 2 000 N, which indicated that the mechanical properties of the samples were good. In the pressure filtration test, the solid content of the filter cakes of the three composite geotextile samples exceeded 75%. Among them, the composite geotextile prepared with 0.09 tex viscose fiber layer as hydrophilic layer had the best sediment dewatering performance due to its smallest pore size, the highest initial flow rate and the smallest permeability of sediment particles.

Keywords: composite geotextile; dewatering performance; needling; gradient structure; sediment management

底泥是江河湖海、水库等水体底部长期积存的沉积物。随着工业的发展,大量重金属污染物被排放到水体中,这些污染物在底泥中不断富集,导致底泥污染问题日益严重。据统计,我国主要河流、湖泊底泥中的重金属含量均超过当地土壤背景值,底泥污染率高达 80.1%^[1-2],这对水体生态系统及人类健康构成严重威胁。目前,环保疏浚已成为底泥污染治理的主要方法,但疏浚工程产生的底泥体积庞大、含水量高,给后续的储存、运输及资源化利用带来极大的挑战。高效脱水因能够减少底泥含水量,有效降低底泥治理的难度与成本,成为底泥治理过程中不可或缺的一环。

高含水率底泥的传统脱水方法主要有自然干化法和机械脱水法^[3-4]。自然干化法借助水的自重与自然蒸发降低含水量,其不仅占地面积大,耗时久,而且脱水效率受场地、时间、气候等多种自然条件限制,同时可能会造成土壤二次污染,因此该方法已逐渐被淘汰。机械脱水法又分为真空转鼓法与板框压滤法。其中,真空转鼓法利用高速旋转产生的离心力实现固液分离,板框压滤法利用滤板的相互挤压挤出水分,两者均存在投资成本大、能耗高,以及噪声污染严重等问题。

土工管袋脱水法为底泥脱水提供了新的解决方案。该方法是将底泥装入土工管袋中,利用管内压力及底泥自重迫使自由水从土工管袋孔隙中排出,而底泥颗粒则被有效截留在管袋内^[5]。土工管袋脱水法与传统脱水法相比,具有能耗小、成本低、操作简便及环境友好等优势,并且便于底泥颗粒的储存及后续资源化利用,已在环境工程领域得到广泛应用^[6-7]。如,查道平等^[8]选用高强度的聚丙烯(PP)土工管袋进行底泥脱水,并在管袋中加入脱水药剂用于处理苏州河受污染的底泥。结果显示,装入土工管袋的底泥在约 3 周的时间内完成脱水固

化,脱水后底泥的含水率降至低于 40%。丘富顺等^[9]选用斜纹机织土工管袋对厦门筭筭湖疏浚底泥进行脱水处理。研究显示,底泥颗粒在絮凝剂及自重作用下沉积固化,但添加的絮凝剂易附着在管袋内壁,造成脱水困难。

目前,土工管袋脱水主要借助底泥自重与添加絮凝剂来实现,这不仅导致脱水效率低,还可能会因絮凝剂的使用而引发二次污染问题。此外,土工管袋的结构对脱水过程具有重要影响,尤其是在脱水初期,过滤效率、滤饼形成程度及稳定性均受管袋结构的影响^[10]。基于此,本文以减少絮凝剂的使用、提高脱水效率、降低土壤流失量为目的,优化土工管袋用复合土工布结构,尝试制备由内至外孔径依次减小、亲水性依次增加的双重梯度结构复合土工布,以减少脱水过程中液体的反渗,同时利用差动毛细效应和润湿梯度效应对液体进行导流。研究旨在为实际工程应用中土工管袋底泥脱水性能的优化提供参考。

1 试验

1.1 原料与仪器

原料:疏水聚烯烃系纤维[ES 纤维,含聚乙烯(PE)和 PP 双组分],线密度为 0.22 tex,回潮率为 0.2%,江苏江南高纤有限公司;亲水 ES 纤维,线密度为 0.20 tex,回潮率为 1.5%,江苏江南高纤有限公司;黏胶纤维,线密度为 0.12 tex,回潮率为 15.0%,唐山三友集团兴达化纤有限公司;黏胶纤维层,厚 0.47 mm,面密度为 80 g/m²,其中黏胶纤维线密度为 0.09 tex,纤维回潮率为 15.0%,希纺新材料发展有限公司;522 型 PP 平纹机织物,厚 0.50 mm,面密度为 155 g/m²,浙江华耐网布有限公司。

仪器:FZS-600 型梳理机和 FZZ-1200 型针刺

机,常熟伟成非织造成套设备有限公司;FLEX 1000 型扫描电子显微镜(SEM),日本日立公司;CFP-1100AI 型多孔材料孔隙分析仪,美国 PMI 公司;YG026MB 型多功能电子织物强力机,温州方圆仪器有限公司。

1.2 复合土工布的制备

1.2.1 结构设计

适用于缝制土工管袋的土工布涵盖编织、机织、非织造及机织/非织造复合等结构类型。其中,机织/非织造复合土工布结合了机织物的高强度、低应变特性及非织造布良好的过滤性能^[11-12],能够有效突破单层织物的局限性。因此,本文采用机织/非织造复合工艺制备复合土工布。

非织造结构材料中,不同纤维网层间毛细管孔

径的差异将引发界面间产生压力差,促使液体在压力作用下定向流动至一端^[13]。另外,不同润湿性的表面因吸水性能不同,也会在材料厚度方向产生压力梯度,从而驱动液体单向传输^[14-15]。采用疏水粗且纤维制备蓬松疏水层、亲水细且纤维制备紧密亲水层,再以 PP 平纹机织物作为加筋中间层(机织层),然后将三者复合制备复合土工布,在复合土工布厚度方向上形成孔径依次减小、亲水性依次增加的双重梯度结构。这种双重梯度结构的复合土工布能够通过毛细压力和润湿差异,为液体的传输提供驱动力,同时减少液体反渗^[16-17]。基于此,本文设计制备“蓬松疏水层+机织层+紧密亲水层”双重梯度结构复合土工布,其结构示意及 SEM 图如图 1 所示。

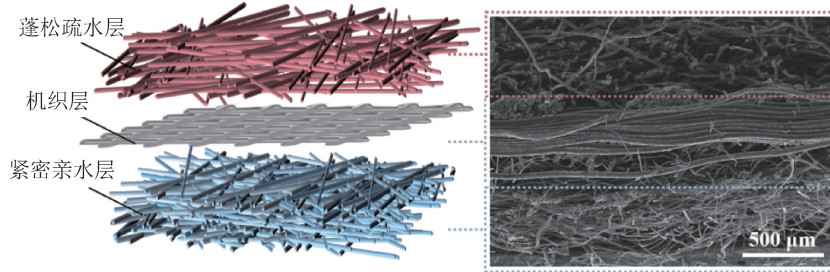


图 1 复合土工布结构示意及其 SEM 图

Fig. 1 Schematic illustration and SEM image of composite geotextile

1.2.2 制备工艺及流程

分别对疏水 ES 纤维与亲水 ES 纤维进行开松后,直接梳理成网,制得疏水纤维网和亲水纤维网。为确保纤维网顺利喂入针刺区,将疏水纤维网与亲水纤维网分别喂入针刺密度为 1 380 刺/cm²、针刺频率为 300 刺/min、针刺深度为 7~9 mm 的预针刺机,制成面密度均为 80 g/m² 的蓬松疏水层与紧密亲水层。将蓬松疏水层、机织层、紧密亲水层依次叠合后喂入主针刺机进行反复针刺加固,制得复合土工布^[18]。主针刺密度为 2 760 刺/cm²、主针刺频率为 300 刺/min、主针刺深度为 7~9 mm。

为探究润湿梯度与孔径梯度对复合土工布底泥脱水性能的影响,验证结构设计的合理性,本文共制备了 3 种复合土工布试样,即疏水层均为疏水 ES 纤维,机织层均为 PP 平纹机织物,亲水层分别为亲水 ES 纤维层(纤维线密度为 0.20 tex)、黏胶纤维层(纤维线密度为 0.12 tex)和黏胶纤维层(纤维线密度为 0.09 tex)的复合土工布试样,依次命名为 1# 试

样、2# 试样和 3# 试样。通过调整针刺工艺参数实现对孔径的调控,将制备 1# 试样的亲水 ES 纤维层的预针刺密度设定为 1 840 刺/cm²、预针刺频率设定为 400 刺/min,使 1# 试样亲水 ES 纤维层的孔径与 2# 试样亲水黏胶纤维层的孔径一致。

1.3 性能测试与表征

1.3.1 形貌表征

在复合土工布上裁剪出 5 mm×5 mm 的试样,对其喷金 60 s 后,使用 FLEX 1000 型 SEM 观察其表面。使用 Image J 软件测量纤维直径,选取 100 根纤维进行测试,并统计分析纤维平均直径。同样,在复合土工布上裁剪出 5 mm×5 mm 的试样,放入液氮中冷冻,完全冻脆后剪开贴在 SEM 的电镜台上,对其喷金 60 s 后,观察复合土工布的截面。

1.3.2 孔径测试

在复合土工布上裁剪出 30 mm×30 mm 的试样,用浸润液将其彻底润湿,再依据泡点法原理,采用 CFP-1100AI 型多孔材料孔隙分析仪对复合土工布

及单纤维层进行孔径测试与分析。

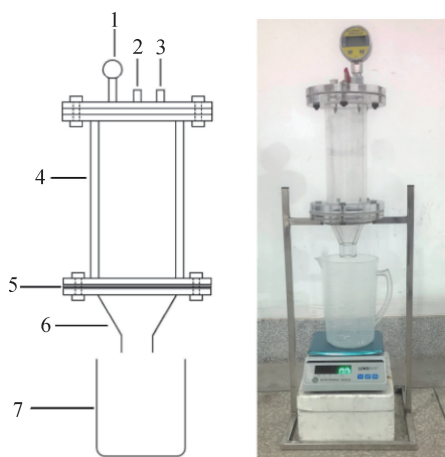
1.3.3 力学性能测试

采用 YG026MB 型多功能电子织物强力机,依据 SL 235—2012《土工合成材料测试规程》中的条带拉伸试验方法,对复合土工布试样进行纵横向拉伸性能测试。测试方法为窄条法,拉伸速度为 20 mm/min,将复合土工布试样裁剪成 200 mm×50 mm,夹具中夹持砂纸(粒径 250 μm)以防试样滑移及钳口断裂。每种试样纵向和横向分别测试 5 次,结果取平均值。

采用 YG026MB 型多功能电子织物强力机,依据 SL 235—2012 中的圆球顶破试验方法,对试样进行顶破性能测试。圆形试样直径为 100 mm,设定材料试验机顶压速率为 300 mm/min,夹具中夹持砂纸(粒径 250 μm)以防试样滑移。每种试样分别测试 5 次,结果取平均值。

1.3.4 底泥脱水性能测试

搭建压力过滤试验装置模拟土工管袋中底泥的脱水固化过程,评估复合土工布的底泥脱水性能。如图 2 所示,该压力过滤试验装置由顶盖、过滤柱、锥形底板、烧杯及电子天平等组成。顶盖上设有压力表、进气口和进泥口。



1—压力表;2—进气口;3—进泥口;4—过滤柱;
5—复合土工布;6—锥形底板;7—烧杯。

图 2 压力过滤试验装置图

Fig. 2 Diagrams of pressure filtration test device

将 90 g 干燥处理后的河泥分散在 210 mL 水中,配制 300 g 含水率为 232.56% 的底泥以模拟现实底泥条件^[6]。将待测试的复合土工布试样完全浸润后,平整夹持在过滤柱与锥形底板之间,通过进

泥口将底泥倒入过滤柱中,施加 34.5 kPa 的压力,底泥颗粒被复合土工布拦截,滤液则流经锥形底板后被收集于烧杯中,每隔 5 s 记录一次滤液质量以评估其流速。试验结束后,记录压力过滤后复合土工布试样和滤饼的干湿态质量,以及滤液中底泥颗粒的质量。分别按式(1)和式(2)计算过滤试验结束后的滤饼固含量和底泥颗粒透过量。

$$E = \frac{m_1}{m_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中: E 为过滤试验结束后的滤饼固含量,%; m_1 为过滤后滤饼的干态质量,g; m_2 为过滤后滤饼的湿态质量,g。

$$F = \frac{m_f}{A} \quad (2)$$

式中: F 为底泥颗粒透过量,g/m²; m_f 为滤液中底泥颗粒的质量,g; A 为复合土工布的过滤面积,m²。

2 结果与讨论

2.1 表面形貌

疏水 ES 纤维层、亲水 ES 纤维层、0.12 tex 亲水黏胶纤维层和 0.09 tex 亲水黏胶纤维层 4 种单纤维层试样的 SEM 图及纤维直径分布如图 3 所示。纤维直径直接影响复合土工布的孔径,进而对差动毛细效应产生影响。由图 3 可以观察到,疏水 ES 纤维层的纤维直径最大,纤维排列松散、间距大;亲水 ES 纤维层的纤维排列较紧密,纤维间孔隙较小;随着纤维线密度减小,亲水黏胶纤维层的纤维排列趋于紧密,纤维间孔隙减小。

2.2 截面形貌

复合土工布试样的截面 SEM 图如图 4 所示,疏水 ES 纤维层蓬松多孔,PP 平纹机织物起支撑作用,能够提高复合土工布的强力,亲水 ES 纤维层结构紧密。三层结构纤维网经针刺复合后,形成蓬松疏水层+机织层+紧密亲水层梯度结构。由图 4a)~图 4c)可以看出,复合土工布试样的层间呈现出明显的孔径梯度变化,这有利于形成差动毛细效应。由图 4d)可观察到,黏胶纤维簇在针刺作用下贯穿上下层,形成连接上下层的贯穿孔道,有利于液体在复合土工布厚度方向上沿纤维簇快速传输。

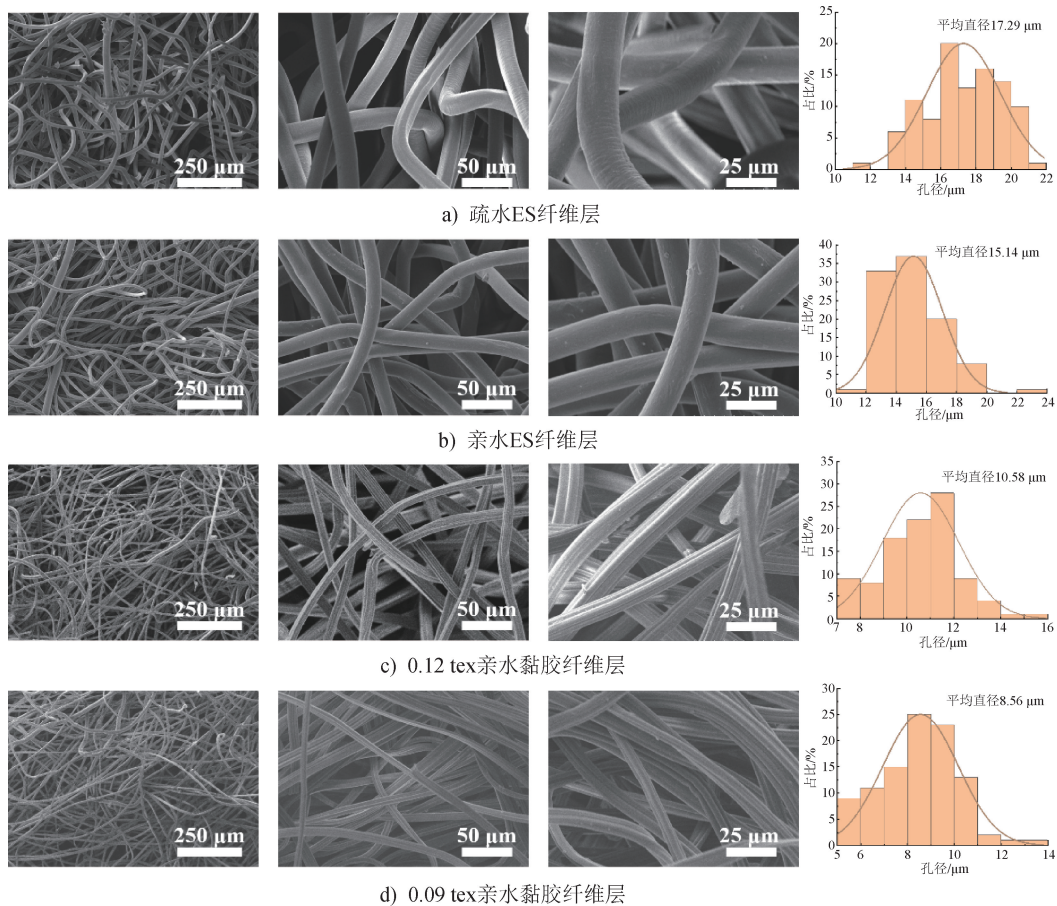


图 3 4 种单纤维层试样表面 SEM 图及直径分布图

Fig. 3 Surface SEM images and diameter distribution pictures of four types of single fiber layer samples

2.3 孔径分析

孔径直接影响差动毛细效应、底泥脱水的堵塞程度及颗粒透过量。各单纤维层及复合土工布试样的孔径分布如图 5 所示。由图 5a) 可以看出,疏水 ES 纤维层的孔径最大,亲水 ES 纤维层与 0.12 tex 亲水黏胶层的孔径分布相似,峰值对应的横坐标值差异较小,平均孔径相近。对比 2 种亲水黏胶纤维层的孔径发现,纤维层孔径随着纤维线密度的减小而减小。疏水层与 3 种亲水层的孔径差异为差动毛细效应提供了结构基础,有望实现液体的快速传输。由图 5b) 可以看出,3 种复合土工布试样的孔径随着亲水层孔径的减小而依次减小,其中,亲水层为 0.09 tex 亲水黏胶层的 3# 试样的孔径最小。

2.4 力学性能

3 种复合土工布试样及机织层和非织造层的纵向拉伸断裂曲线如图 6 所示,3 种复合土工布试样的纵向拉伸断裂强力分别为 968.1、953.1 和

939.6 N,横向拉伸断裂强力分别为 802.5、868.0 和 853.8 N。3 种试样的结构、面密度与制备工艺相同,并且使用了相同的 PP 平纹机织物作为加筋中间层,因此其纵横向拉伸断裂强力和拉伸断裂伸长率差异较小。复合土工布试样的拉伸曲线与机织层相近,与非织造层存在明显差异^[19],说明试样处于较小的伸长状态时,先由机织层的经纱和纬纱承受拉伸应力直至被拉断,再由非织造层承受拉伸应力。机织物的纵向断裂强力主要取决于经纱强力及经纬纱线间的交织阻力。复合土工布制备过程中,反复的针刺作用将造成机织层的纱线及非织造层的纤维受到损伤,进而产生结构上的弱节。进行复合土工布试样的纵向拉伸时,非织造层会影响机织层交织点间的作用,导致复合土工布的纵向断裂强力低于机织层。机织层的纬纱排列密度相对较小,受横向拉伸时,复合土工布中的非织造层能够限制纬纱在拉伸过程中的变形和位移,使纬纱在拉伸过程中保

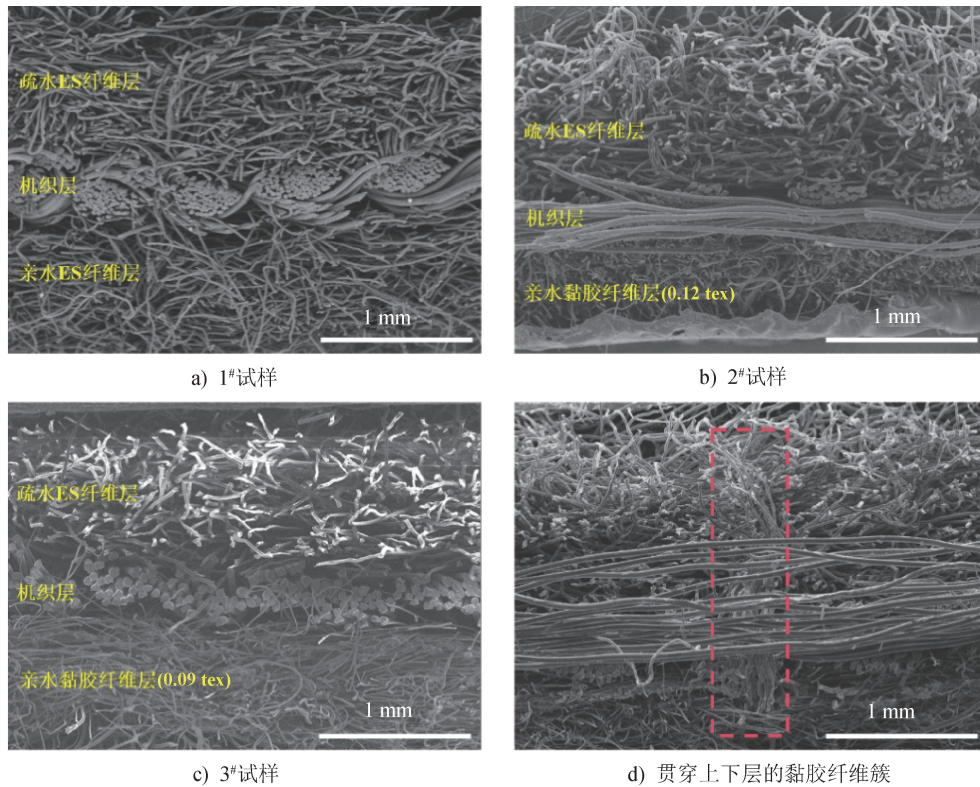


图4 复合土工布试样的截面SEM图

Fig. 4 SEM images of cross section of composite geotextile samples

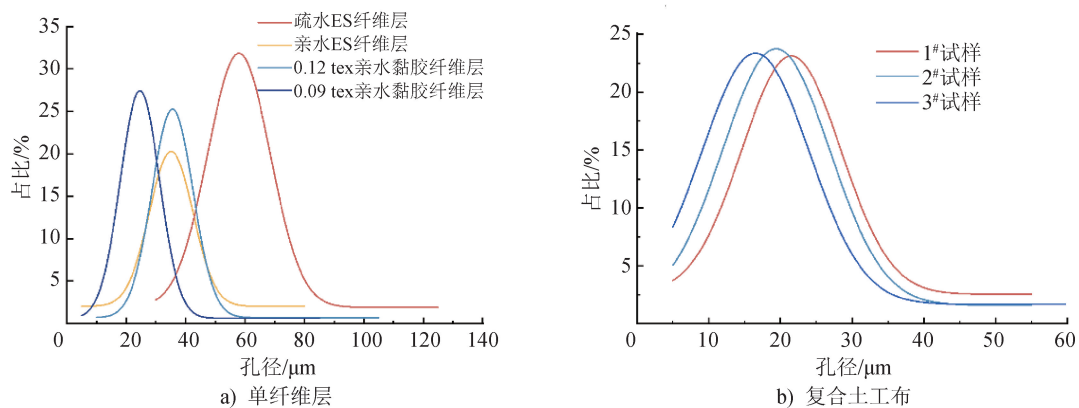


图5 单纤维层及复合土工布试样的孔径分布

Fig. 5 Pore size distribution of single fiber layers and composite geotextile samples

持更稳定的状态,减少因纬纱变形和位置移动造成的结构破坏。因此,复合土工布的横向拉伸断裂强力高于机织层。

结合拉伸断裂曲线与试样外观变化情况可知,复合土工布试样在受最大拉伸强力破坏后,其横向拉伸强力没有直接降低至0,而是缓慢下降。该现象可能与复合土工布的结构有关。在受到最大拉伸强力破坏后,复合土工布中局部区域的纱线发生断

裂,机织层与非织造层相互作用,使周围更大范围的纱线及纤维共同承受拉伸应力的作用,因而复合土工布在产生较大形变时仍能保持一定的强度,直至完全被拉伸^[20]。

顶破指织物在垂直于其表面的负荷作用下,顶起扩张而产生的破裂。顶破性能能够表征织物的多向强伸性能^[19]。考虑到实际应用中填充底泥会对土工管袋产生顶破冲击,对3种复合土工布试样进

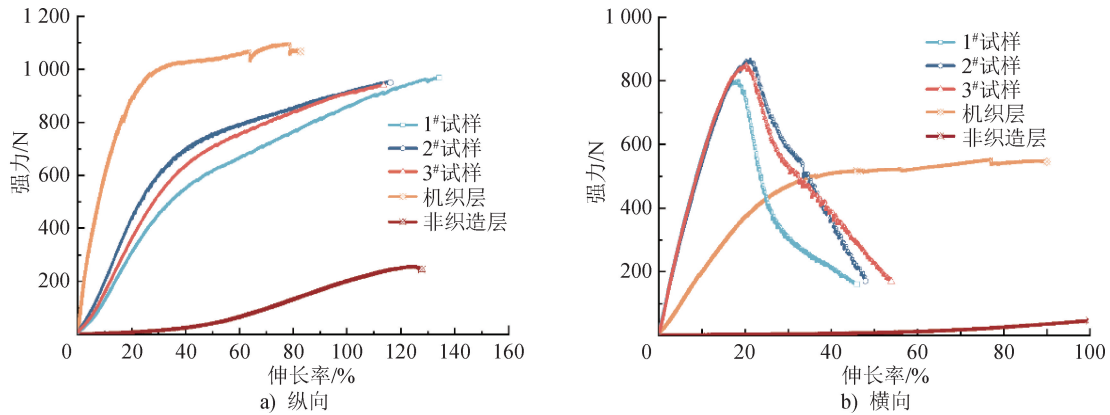


图 6 3 种复合土工布试样及机织层和非织造层的拉伸断裂曲线

Fig. 6 Tensile fracture curves of three composite geotextile samples, woven layer and nonwoven layer

行顶破性能测试。3 种复合土工布试样的顶破强力测试结果如图 7 所示。可以看出,3 种试样的顶破强力均超过 2 000 N,最高达 2 359 N。

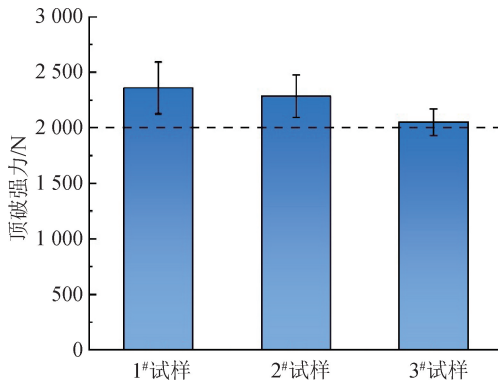


图 7 3 种复合土工布试样的顶破强力

Fig. 7 Bursting strength of three composite geotextile samples

2.5 脱水性能分析

采用复合土工布过滤不含絮凝剂的底泥时,其脱水性能主要采用脱水速度、流失泥量及脱水程度表征。本文采用压力过滤试验测试复合土工布脱水过程中的滤液流速、颗粒透过量及过滤后的滤饼固含量,评价其脱水性能。

对本文制备的复合土工布进行脱水性能测试,并与市售土工管袋进行对比。图 8a) 为复合土工布试样与市售土工管袋用于底泥过滤时,滤液流速随脱水时间的变化曲线。可以看出,复合土工布的脱水过程包括 2 个阶段,第一阶段(脱水时间小于 100 s)滤液流速急剧下降;第二阶段(脱水时间为 100 ~ 400 s)滤液流速趋于平缓。原因是开始脱水时,固体底泥颗粒悬浮于水中,滤液流速取决于复合土工

布的孔隙结构,此时复合土工布表面截留的底泥颗粒较少,过滤阻力小,故滤液流速较大。随着脱水时间的延长,固体颗粒因自重和压力作用发生沉降,少部分颗粒从复合土工布的孔隙流出,大部分固体颗粒被复合土工布截留,堵塞了其孔隙或在其表面堆积形成滤饼初始层,使复合土工布的过滤阻力增大,导致滤液流速急剧下降^[21]。随着脱水过程的进行,压力作用使底泥颗粒间距减小,液体被挤出,滤饼开始固结。脱水 100 s 后,滤饼完全形成,此时滤液流速较低且无明显变化。由图 8a) 还可以看出,过滤试验初期,3# 试样的滤液流速最大,2# 试样次之,1# 试样的滤液流速较小,市售土工管袋的滤液流速最小。这可用 3 层织物结构形成的差动毛细效应与润湿梯度解释:1# 试样和 2# 试样的蓬松疏水层与致密亲水层之间孔径梯度相近,但润湿梯度不同,亲水 ES 纤维层(1# 试样)的亲水性不及 0.12 tex 黏胶纤维层(2# 试样),润湿梯度效应较弱,故 1# 试样的初始滤液流速较小;2# 试样和 3# 试样的亲水层均为黏胶纤维,与疏水层间的润湿梯度相同,但孔径梯度不同,0.12 tex 黏胶纤维层(2# 试样)与疏水 ES 纤维层间的孔径差异较小,差动毛细效应相比 3# 试样较弱,故 2# 试样的初始滤液流速较小。研究表明^[16,22],在孔径依次减小、亲水性依次增加的双重梯度结构织物中,差动毛细效应与润湿梯度效应协同作用,影响液体的传输。因此,3 种复合土工布的初始滤液流速均大于市售土工管袋。

3 种复合土工布试样与市售土工管袋用于底泥过滤的颗粒透过量与滤饼固含量测试结果如图 8b) 所示。颗粒透过量可用于表征实际工程应用中的土

壤流失量,是底泥脱水性能的重要评判指标。颗粒透过量与材料的孔径密切相关,市售土工管袋为编织物,其孔径大于普通非织造布,故市售土工管袋的颗粒透过量最大;1[#]、2[#]、3[#]试样的孔径依次减小,颗粒透过量随之减小。3种复合土工布的滤饼固含量无明显差异,且均超过75%,表现出较好的脱水性能。

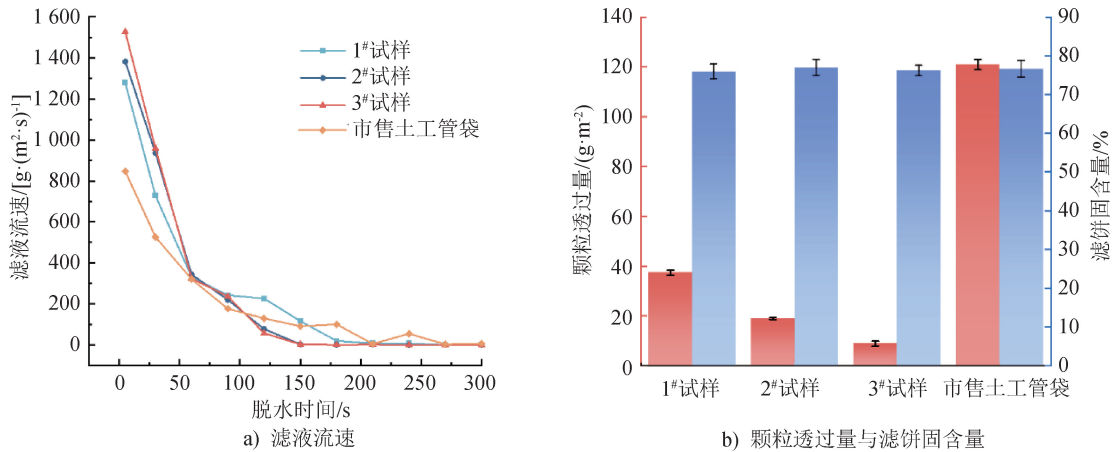


图8 3种复合土工布与市售土工管袋的滤液流速、颗粒透过量及滤饼固含量

Fig. 8 Flow rate, permeability of sediment particles and filter cake solid content of three composite geotextiles and commercially available geotextile tube

3 结论

分别使用亲水ES纤维、0.12 tex黏胶纤维及0.09 tex黏胶纤维构建亲水层,以PP平纹机织物为加筋中间层,采用0.22 tex疏水ES纤维构建疏水层,基于针刺工艺,制备上层蓬松疏水、中间层机织加筋、下层紧密亲水的机织/非织造复合土工布,用于底泥过滤。通过复合土工布孔径/润湿双重梯度产生的差动毛细效应,成功实现液体沿土工布厚度方向的快速传输。对3种复合土工布进行力学性能测试,结果表明,3种试样的纵向断裂强力均超过900 N,横向断裂强力均超过800 N,顶破强力均超过2000 N,具有较好的力学性能。底泥脱水性能测试结果表明,3种试样过滤后的滤饼固含量均超过75%,其中,3[#]试样的初始滤液流速最大、颗粒透过量最小,底泥脱水性能最优。



期刊采编平台

中国知网下载

综上,与市售土工管袋相比,本文制备的复合土工布用于底泥脱水时,其滤液流速与滤饼固含量均明显提高,颗粒透过量明显减少,脱水性能显著改善,且3种复合土工布中3[#]试样的脱水性能最优。研究结果也证实,对土工管袋进行结构设计能够优化其脱水性能。

参考文献

- [1] 胡兰文, 陈明, 杨泉, 等. 底泥重金属污染现状及修复技术进展[J]. 环境工程, 2017, 35(12): 115-118.
- [2] 刘莹, 李慧颖, 王文祥. 底泥重金属污染修复技术研究进展[J]. 资源节约与环保, 2021(7): 13-15.
- [3] 李志超. 土工管袋处理含砷河道底泥脱水固定化实验研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2013.
- [4] 任俊. 无机有机复配絮凝剂提升疏浚底泥脱水效果及脱水机理研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2023.
- [5] 周真佳, 金良平, 柯勤飞, 等. 环境土壤修复用土工合成材料的研究及应用[J]. 纺织导报, 2019(增刊1): 44-48.
- [6] 丁泽钊. 聚丙烯复合土工布的制备及其在污泥脱水领域的应用研究[D]. 上海: 东华大学, 2021.
- [7] MUTHUKUMARAN A E, ILAMPARUTHI K. Laboratory studies on geotextile filters as used in geotextile tube dewatering[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2006, 24(4): 210-219.
- [8] 查道平, 黄万凌, 孙森焱, 等. 生态环保土工管袋处置河道疏浚底泥的施工技术[J]. 建筑施工, 2020, 42(11): 2149-2151.

- [9] 丘富顺, 胡云飞. 土工管袋脱水工艺在城市内湖生态清淤中的应用[J]. 港口航道与近海工程, 2023, 60(6): 113-116.
- [10] STOLTZ G, DELMAS P, BARRAL C. Comparison of the behaviour of various geotextiles used in the filtration of clayey sludge: an experimental study[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2019, 47(2): 230-242.
- [11] 刘凯琳, 赵永霞, 张娜. 土工合成材料的发展现状及趋势展望[J]. 纺织导报, 2019(增刊 1): 6-28.
- [12] 关伟. 机织过滤布在工业固液分离领域的应用[J]. 产业用纺织品, 2023, 41(9): 46-52.
- [13] 王伟, 黄晨, 靳向煜. 单向导湿织物的研究现状及进展[J]. 纺织学报, 2016, 37(5): 167-172.
- [14] 周忠成, 周衡书, 张恒, 等. 单向导液非织造材料成型方法及其应用进展[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(11): 141-146.
- [15] DENG J X, YU W H, ZHAN L, et al. Wettability regulation of membranes based on biodegradable aliphatic polyester[J]. Journal of Membrane Science, 2024, 711:123199.
- [16] 张恒, 吕宏斌, 车福生, 等. 梯度结构的聚酯/粘胶热风非织造材料及液体非对称传输特性[J]. 丝绸, 2019, 56(7): 46-51.
- [17] 蓝华孟, 张梦洁, 王荣武. 单向导水纳米纤维膜复合热风非织造材料面层的制备及性能[J]. 产业用纺织品, 2023, 41(8): 16-23.
- [18] 娄辉清, 曹先仲, 杨光豪, 等. 针刺复合生态土工布的制备及植生性能研究[J]. 产业用纺织品, 2021, 39(8): 20-26.
- [19] 于伟东. 纺织材料学[M]. 2 版. 北京:中国纺织出版社, 2018:395.
- [20] 丁金华, 张伟, 孙慧, 等. 新型高强经编复合土工织物拉伸特性测试方法[J]. 长江科学院院报, 2019, 36(10): 175-179.
- [21] FATEMA N, BHATIA S. Role of geotextiles pore size distribution in dewatering tests [J]. Geosynthetics International, 2020, 28(1): 80-94.
- [22] 蔡海斌, 刘力. 黏胶/ES 纤维热轧消毒吸附干巾表层材料的制备与性能分析[J]. 产业用纺织品, 2024, 42(8): 10-16.

欢迎订阅《产业用纺织品》

《产业用纺织品》(月刊), 大 16 开, 全彩色印刷, 定价 12.00 元/册, 全年 144.00 元, 中国标准连续出版物号 ISSN 1004-7093, 邮发代号 4-492, CN 31-1595/TS

《产业用纺织品》由东华大学主办, 已入编中国学术期刊(网络版)、万方数据-数字化期刊群、中文科技期刊数据库(全文版)、长江文库及超星期刊域出版平台等。

《产业用纺织品》主要刊登国内外有关产业用纺织品的综述文章, 科研、生产技术报告, 报道相关领域的新产品、新材料、新技术及新设备, 介绍有关专利、标准、测试方法, 以及相关领域的行业动态、市场信息等。《产业用纺织品》努力成为纺织、冶金、化工、电子、医疗卫生、农林、水利、建材及国防工业各

科研、生产和使用单位间信息联络的纽带, 促进中国产业用纺织品的研究开发和生产应用。

《产业用纺织品》承接相关广告, 并热诚为客户宣传, 欢迎有意者来电或 E-mail 联系。

地 址: 上海市延安西路 1882 号
东华大学出版社楼 207 室

电 话: 021-62378228

E-mail: techtex@dhu.edu.cn

采编平台: <http://cyyf.cbpt.cnki.net>

