

DOI: 10.11779/CJGE2020S2037

# 土工袋排列方式对砂性土质边坡加固影响试验研究

王艳巧, 李一雷, 刘康\*, 熊旭, 周磊, 张恒, 郑晓唐, 邓长奥

(合肥工业大学土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009)

**摘要:** 土工袋加固边坡效果已在许多工程实际中得到了验证, 但对于土工袋排列方式对边坡加固效果的影响尚缺乏系统的试验研究。鉴于此, 通过室内物理模型试验, 进行5种不同土工袋排列方式加固边坡的加载破坏试验, 通过分析坡体破坏形态与破坏压力、土压力水平传递和竖向分布规律、加载过程中坡体水平位移变化趋势, 探究土工袋的排列方式对砂性土质边坡的加固效果影响及其规律。研究结果表明: 纵横层间交错排列(排列方式1)滑裂面最深、坡体承载力最大, 其加固效果最好。此外, 边坡加固效果与尾翼埋入坡体多少和土工袋层间嵌固效果有关, 尾翼埋入坡体越多, 层内相互约束作用越强, 挡墙层间嵌固作用越强, 对坡体的变形约束越强, 土工袋加固效果就越好。

**关键词:** 砂性土质边坡; 土工袋; 模型试验; 排列方式

中图分类号: TU43

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2020)S2-0208-06

**作者简介:** 王艳巧(1983—), 女, 博士, 讲师, 主要从事边坡加固处理等方面的研究工作。E-mail: wangyanqiao@hfut.edu.cn。

## Experimental study on influences of inter-layered arrangements of soilbags on reinforcement of sandy soil slopes

WANG Yan-qiao, LI Yi-lei, LIU Kang, XIONG Xu, ZHOU Lei, ZHANG Heng, ZHENG Xiao-tang, DENG Chang-ao

(School of Civil and Hydraulic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** The effectiveness of soilbags on slope reinforcement is verified in many engineering applications. However, there is no systematic experimental study on the influences of the inter-layered arrangements of soilbags on the reinforcement of soil slopes. The laboratory physical model tests on the soil slopes reinforced by soilbags with five different inter-layered arrangements are conducted. The influences of the inter-layered arrangements of soilbags on the reinforcement of soil slopes and their characteristics are investigated by analyzing the failure mode and pressure of slopes, the horizontal transmission and vertical distribution of soil pressures, and the variation tendency of the horizontal displacements during the loading process. The experimental results show that the bearing capacity and the settlement are the largest when the vertically and horizontally inter-layered stagger arrangement of soilbags (Arrangement 1) is applied. Arrangement 1 has the best reinforcement effectiveness among the five different arrangements. In addition, the longer the tail is buried in the slope, the stronger the inter-layered constraint is. The stronger inter-layered constraint causes stronger embedding effectiveness between the soilbag layers, and this effectiveness exhibits stronger deformation constraint, which induces better reinforcement effectiveness.

**Key words:** sandy soil slope; soilbag; model test; arrangement

## 0 引言

边坡失稳导致滑坡是山区和丘陵地区常见的自然灾害之一, 在中国西南、西北、华东和华北等山区、丘陵以及黄土高原地区都有大量滑坡分布<sup>[1]</sup>。随着经济的发展, 人类越来越多的工程活动破坏了自然坡体, 铁路、公路的不断扩建、增建和城市旅游开发等建设, 在某种程度上破坏了原生地表, 尤其是开山炸石, 导致水土大量流失, 地质灾害频发, 坡滑坡事件屡见不鲜。边坡失稳造成的滑坡不仅会导致一定范围内的人员伤亡、财产损失, 还会对附近道路交通造成严重威

胁<sup>[2]</sup>。因此, 研究及时有效的边坡处理方法已经成为时下学术界、工程界的热门课题之一。

目前, 边坡加固方法可分为内部加固法和外部加固法两大类<sup>[3]</sup>。内部加固法主要是在土体内加入碎石、格栅等以改善其受力状态, 从而加固边坡。外部加固法是在边坡外部设置原位挡墙、重力挡墙等支挡结构

**基金项目:** 国家自然科学基金青年基金项目(51609059); 国家级大学生创新创业训练计划项目(201910359029)

**收稿日期:** 2020-08-07

\*通信作者 (E-mail: k.Liu@hfut.edu.cn)

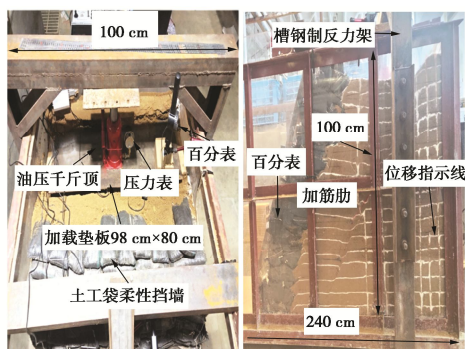
使土体得到约束而不易发生破坏, 如抗滑挡土墙法、表面压重法、土工袋法等<sup>[4-5]</sup>。

土工袋加固边坡的基本原理就是用编织袋填充各种材料如土料等, 从而限制土体的侧向位移<sup>[6-7]</sup>, 这种方法具有施工简单、安全环保、就地取材等优点。长期以来, 土工袋主要应用于港口建设、防洪抢险截流围堰和堆砌支挡结构等一些临时性挡土建筑物中<sup>[8]</sup>。近年来, 刘斯宏等<sup>[9-10]</sup>在结合土工袋工程实际应用的基础上, 通过考察以及大量试验和理论研究后开发出了一套新的土工袋加固岩土工程技术, 完成了其由实践向理论的过渡。土工袋的加固原理和效果已被广泛深入研究。

目前, 土工袋加固边坡的基本原理已经日趋完善, 且其加固效果已经在国内外许多工程中得到了验证<sup>[11-16]</sup>, 但这种柔性的土工袋加固边坡技术并不是简单的将土工袋堆放于边坡旁, 而是按一定的排列方式使其与坡体形成一整体, 从而对边坡起到外部支挡作用。研究土工袋的排列方式对土质边坡的加固和稳定效果可为土工袋加固土质边坡的优化设计提供理论及数据支持。鉴于此, 本文对土工袋的排列方式进行一系列的试验研究, 探究不同的排列方式对砂性土质边坡的加固效果影响。

## 1 试验材料与装置

试验在一内部尺寸为 240 cm×100 cm×100 cm (长×宽×高) 的模型箱 (见图 1) 中进行。为便于试验操作, 模型箱右侧面悬空, 前、后和左侧三面均由 20 mm 厚的有机玻璃板黏合而成, 为防止模型箱在边坡加载过程中因发生较大的侧向变形而影响试验结果的准确性, 有机玻璃板与槽钢间的微小空隙用超薄塑片进行了填充, 在箱体前、后两侧面板上均用槽钢配置了上下间距为 50 cm, 左右间距为 60 cm 的条状加强件 (加筋肋), 并用相同型号的槽钢对箱体底部框架结构进行了加固。且在箱体前侧绘制了每小格边长为 5 cm 的位移指示线以便观察坡体的位移。



(a) 正视图 (b) 侧视图  
图 1 试验装置图

Fig. 1 Setup of model tests

试验统一采用尺寸为 20 cm×10 cm×5 cm (长×宽×高) 的加筋土工袋, 即在普通土工袋的基础上增加一长度为 20 cm 的尾翼, 如图 2 所示。土工编织袋原材料为 60 g/m<sup>2</sup> 的聚丙烯 (PP), 经、纬向抗拉强度分别为 11, 5 kN/m, 其经、纬向伸长率均小于 20%。编织袋内装土体与坡体所用土体材料相同, 其物理力学参数为: 密度  $\rho$  为 1.65 g/cm<sup>3</sup>, 含水率  $w$  为 5.2%, 黏聚力  $c$  为 3.8 kPa, 内摩擦角  $\phi$  为 30.2°。

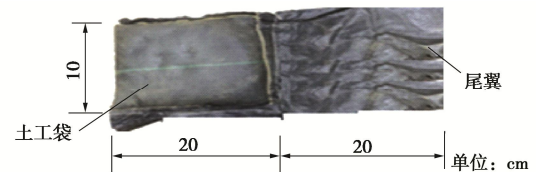


图 2 土工袋

Fig. 2 Soilbag

## 2 试验方法与方案

为探求土工袋最佳排列方式, 在保证土工袋挡墙加固厚度不变的前提下, 将多种基本排列方式交叉结合进行试验, 共形成 5 种不同排列方式 (如图 3) 的物理模型试验。

(1) 纵横层间交替排列 (排列方式 1)。第一层纵向排列, 第二层横向排列, 并以此交替向上, 直至顶层。在纵向排列层中尾翼全部埋入土体内, 横向排列层中尾翼全部在挡墙内相互叠压, 土工袋的尾翼共有 1/2 埋入坡体, 另外 1/2 在挡墙内相互叠压, 具体排列方式见图 3 (a)。

(2) 纵横十字层间交错排列 (排列方式 2)。每一层都是两横一竖的排列方式, 上下层间错开。竖向排列时将尾翼埋入坡体内, 最终有 1/3 的尾翼埋入坡体, 另外 2/3 在挡墙内相互叠压, 上下两层交错, 无纵向贯穿缝, 具体排列方式见图 3 (b)。

(3) 纵向层叠无交错排列 (排列方式 3)。每一层土工袋都是纵向排列, 该种排列方式下, 土工袋的尾翼全部埋入坡体, 挡墙内部无相互叠压, 具体排列方式见图 3 (c)。

(4) 横向层叠无交错排列 (排列方式 4)。每一层土工袋都是横向排列, 且相互无交错, 该种排列方式下, 土工袋的尾翼均未埋入坡体, 仅在挡墙内相互叠压。具体排列方式见图 3 (d)。

(5) 横向层叠交错排列 (排列方式 5)。每一层土工袋都是横向排列, 且层与层之间交错排列, 该种排列方式下, 土工袋尾翼与排列方式 4 相同, 仅在挡墙内相互叠压, 但土工袋上下层交错, 无纵向贯穿缝, 具体排列方式见图 3 (e)。

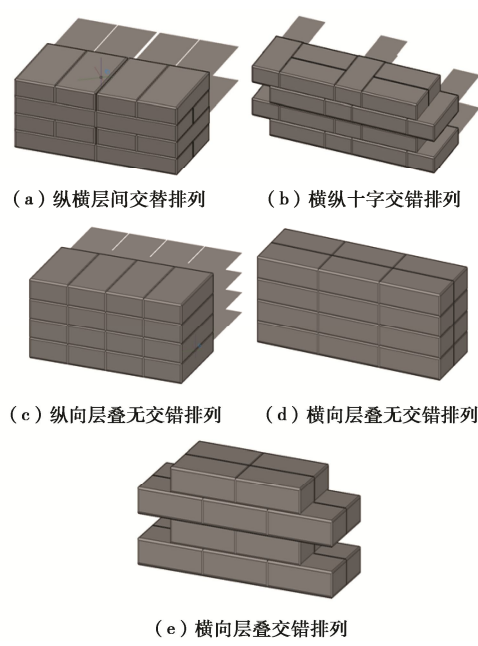


图 3 土工袋排列方法示意图

Fig. 3 Schematic graph of arrangements of soilbags

边坡试样高度为 90 cm，坡比为 1：0.5，统一在土工袋挡墙后距离坡体边缘 15 cm 处水平段加载，加载垫板尺寸为 98 cm× 30 cm（长×宽）。为采集加载过程中坡体内沿竖直方向土压力  $F_1$  和沿坡面方向土压力  $F_2$  的实时数据，以量测土压力沿竖直方向和水平方向的分布及传递规律，在坡内每 10 cm 布置一组（2 个）XHZ-401 型电阻式土压力盒（外径 28 mm，厚 5 mm），在距离坡底 45 cm 处沿水平方向增设 3 个（共计 21 个）以量测土压力沿水平方向的传递规律，其主要技术指标如表 1 所示，埋设位置如图 4 所示。需要注意的是，试验过程中量测的是水平方向土压力，土压力盒的受力面应当保持竖直，埋设时须用部分砂预先固定住土压力盒。

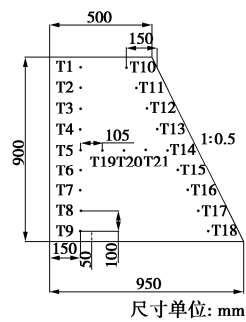


图 4 土压力盒分布示意图

Fig. 4 Schematic diagram of distribution of earth pressure cells

为监测试样受压后竖向位移的连续变化情况以及坡体的变形规律和破坏状态，在墙后坡体顶部水平段和沿坡高方向每隔 20 cm 各放置一个量程为 100 mm 的数显百分表，其主要技术指标如表 2 所示。

表 1 电阻式土压力盒主要技术指标

Table 1 Main technical indice of resistance earth pressure cell						
型号	量程 /MPa	桥压 /V	阻抗 /Ω	精度 /%	接线 方式	绝缘电阻 /MΩ
XHZ-401	0.1	2.0	350	≤0.05	全桥	≥200

表 2 数显百分表主要技术指标

Table 2 Main technical indice of digital indicator (mm)						
型号	量程	A	b	d	l	精度
312-704	100.0	56	8	135	405	0.008

试验前，在模型箱底面贴上一层粗糙的砂纸并放置一尺寸为 100 cm× 15 cm× 15 cm（长×宽×高）的混凝土阻滑体，以避免试验过程中边坡试样沿箱体底面滑动。为了减小箱体前、后两内侧壁摩擦力的影响，在试验前对两侧壁内表面进行擦拭清洁，涂抹上一薄层润滑硅脂，并用一层聚乙烯（PE）薄膜覆盖。在模型箱两侧外表面绘制有 5 cm× 5 cm 的正方形网格。采用分层制样法以控制边坡土体压实度，同时在贴近内侧壁处沿外表面网格用白砂绘制同尺寸的正方形网格，以便监测坡体变形与破坏形态。边坡试样制作完成后，利用油压千斤顶在土工袋挡墙后的坡顶水平段进行匀速加载，加载速率为 0.05 MPa/s。试验过程中，每隔 4 s 记录一次千斤顶压力表读数与相应的坡顶竖向位移。当千斤顶读数不再继续增加，且坡体产生清晰滑裂面时，方可停止加载。试验结束后观察、记录并用相机拍摄坡体的破坏形态。对比分析不同排列方式下边坡破坏形态、坡体变形量、土压力及位移的传递规律等。

3 试验结果分析

3.1 坡体破坏形态与破坏压力

边坡加压破坏后，通过观察土工袋挡墙后坡体相对于 5 cm× 5 cm 网格的移动情况（如图 5 所示）可以发现：坡体在竖向压力作用下，坡顶水平段以及靠近模型箱底部处由于边界摩擦限制作用所产生的位移量较小，其余部分位移较大，可以视为坡体上部分水平移动，而下部分则是围绕坡趾转动。图 6 为 5 种不同排列方式下坡顶压力与坡顶沉降关系曲线，可见，在初期加载阶段随坡顶沉降量的增加坡顶压力增长缓慢，而后期迅速增长直至破坏，这主要是由于前期加载过程中变形主要为坡内土颗粒之间的相互挤压密实而坡体本身所承担外荷载较小。

土工袋排列方式直接影响到滑裂面的形状和规模大小。土工袋加固效果越好，滑坡后产生的滑裂面越深，坡体承受外荷载越大，反之滑裂面越浅，承受外荷载越小。通过观察分析五种不同试验工况下的坡体



滑裂面(图5)和坡顶压力与沉降关系曲线(图6)可见,排列方式1的滑裂面深度最大,坡顶破坏压力也最大,加固效果最好,排列方式3和排列方式5滑裂面深度及破坏压力次之,且相差不大,加固效果次之,其次是排列方式2,加固效果最差的是排列方式4。分析5种不同土工袋排列方式可见:

(1)在排列方式1条件下,横向排列层同一层间相邻土工袋的尾翼相互叠压,这种叠压一方面增加了土工袋层内的摩擦阻力,另一方面土工袋之间相互限制可在层间构成一个整体;竖向排列层的土工袋尾翼均埋入坡体,每两层为一个最小单元,尾翼埋入度为 $1/2$ ,尾翼与土体接触,增大了摩擦阻力,提高了挡墙与坡体的整体性;上下层排列方式不一致,上层土工袋骑跨在下层两个土工袋接触缝上时,由于土工袋具有一定的柔性,在其自重和上部竖向荷载的作用下,上层土工袋的一部分会嵌入到接触缝中,从而形成一种嵌固作用,当作用力施加方向与下层两个土工袋间接触缝垂直时,这种嵌固作用导致土工袋层间摩擦阻力增大,加强了对边坡位移的限制,加固效果最优。

(2)排列方式2采用纵横十字交错排列,每一层都以两横一竖作为最小单元,尾翼埋入度为 $1/3$ ,横向排列土工袋的尾翼压入纵向排列土工袋的尾翼之下,增加了土工袋层内的摩擦阻力,土工袋之间相互限制,在层间构成一个整体;纵向排列土工袋的尾翼埋入坡体,尾翼与土体接触,增大了摩擦阻力,提高了挡墙与坡体的整体性。但由于上下层排列方式一致,挡墙内形成若干条贯穿缝,嵌固效果不明显(无嵌固),加固效果劣于排列方式1。

(3)排列方式3采用纵向层叠无交错排列,所有土工袋的尾翼均埋入坡体中,尾翼与坡体接触,增大了摩擦阻力,挡墙与坡体的整体性也较好,但同一层内各个土工袋间缺乏相互约束,且在竖向荷载作用下,作用力施加方向与下层两个土工袋间接触缝平行,上层土工袋会顺着接触缝产生移动,嵌固作用减弱,对土工袋层间摩擦阻力贡献不大(层内无嵌固),加固效果优于排方式2但劣于排列方式1。

(4)排列方式4采用横向层叠无交错排列,所有土工袋均水平排列,同一层内的土工袋尾翼互相叠压,增加了土工袋层内的摩擦阻力,在层内构成一个整体;但尾翼不与坡体接触,挡墙与坡体的整体性较差,上下层间形成贯穿缝,起不到嵌固作用(无整体性、无嵌固),加固效果最差。

(5)排列方式5采用横向层叠交错排列,土工袋均水平排列,但上下层错缝排列。同一层内的土工袋尾翼互相叠压,增加了土工袋层内的摩擦阻力,在层内构成一个整体,但尾翼不与土体接触,挡墙与坡体

的整体性较差,层间错缝排列,有一定嵌固作用(无整体性),加固效果优于排列方式4但劣于排列方式1。

综上所述,土工袋的排列方式对边坡加固有一定影响,而且影响加固效果的不仅仅有排列方式,尾翼的埋入也对坡体变形约束起到了不可忽视的作用。尾翼埋入坡体越多,层内相互约束作用越强,挡墙层间嵌固作用越强,对坡体的变形约束越强。综合考虑,排列方式1尾翼埋入坡体较多,且该种排列方式下土工袋间的相互嵌固作用较好,所以加固效果也最好。

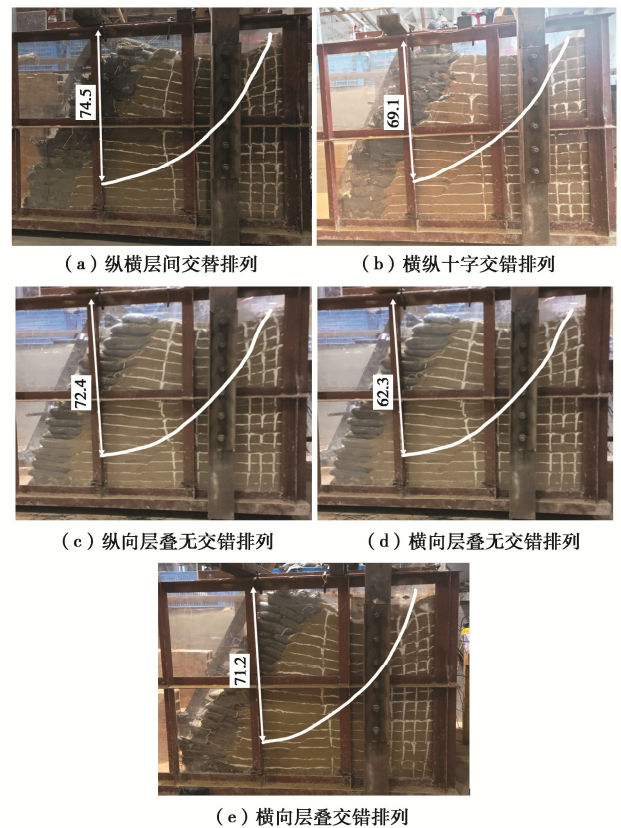


图5 边坡滑裂面

Fig. 5 Slip surfaces of soil slope

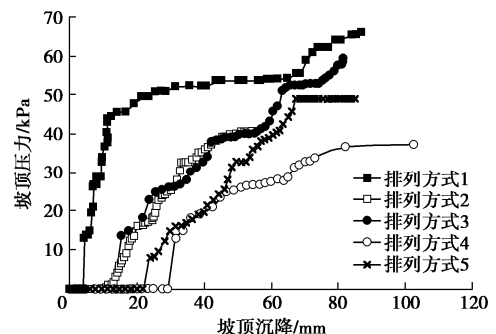


图6 坡顶压力与坡顶沉降关系曲线

Fig. 6 Relationship between pressure and settlement at slope top

### 3.2 土压力水平传递和竖向分布规律

图7为竖向荷载为 $30\text{ kPa}$ 时5种不同土工袋排列方式加固边坡时竖直方向土压力 $F_1$ 和沿坡面方向土压力 $F_2$ 随坡高的变化关系曲线,由图7可见,土工袋

挡墙后坡体内部土压力在竖直方向呈非线性分布, 总体来看最大应力出现在坡体中间偏下部(坡高 25 cm 处)。土工袋柔性挡墙墙身模量低, 具有一定的柔性, 在土压力作用下, 墙身可以与土体发生协调变形, 同时, 因为变形可以释放土体部分压力, 使其不容易断裂且还可以缓解应力集中问题。对比分析 5 种不同排列方式下土压力分布可见, 排列方式 1 的土压力分布最均匀, 起伏不大, 可见其边坡加固效果最好, 其他 4 种排列方式的土压力分布十分不均匀, 边坡加固效果也低于排列方式 1。

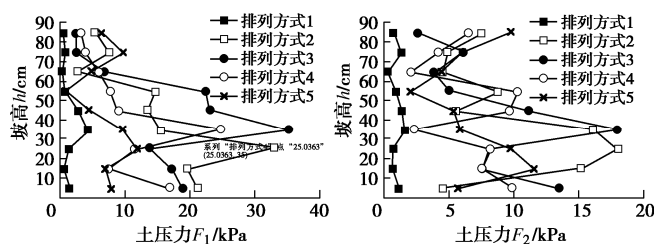


图 7 土压力与坡高的关系

Fig. 7 Relationship between earth pressure and slope height

图 8 比较了竖向载荷为 30 kPa 时距坡底 45 cm 处 5 种不同土工袋排列方式下土压力沿水平方向传递规律。由图 8 可知, 土压力呈现一个中间较高, 两边较小的现象, 这是因为载荷作用点在坡顶中间区域, 使中间区域土压力最大, 向两侧逐渐递减, 但由于靠近箱体一侧土体挤压作用, 土压力会有一定程度的增加。

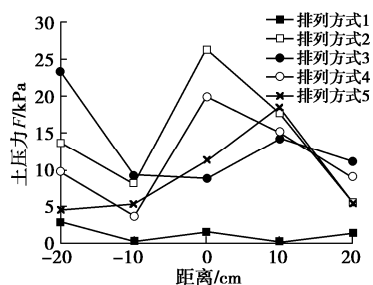


图 8 土压力水平传递规律

Fig. 8 Horizontal transfer laws of earth pressure

### 3.3 加载过程中坡体水平位移变化趋势

图 9 为坡顶压力分别为 30 kPa 和 40 kPa 两种条件下, 5 种不同土工袋排列方式的土工袋挡墙加固边坡水平位移沿坡高的变化关系图。可见, 在各级不同竖向荷载作用下, 5 种排列方式均是在坡体的中间偏下区域(距坡底 40 cm 处)出现最大水平位移, 这主要是由于坡体滑动时土体从上到下逐层牵引, 位移逐渐增大, 而坡体底部土体受坡脚压坡作用存在局部约束导致位移在下部较小, 从而导致最大水平位移出现在中间偏下部分。对比 5 种不同排列方式下坡体位移变化可见, 排列方式 1 变形量最小, 对坡体位移限制效果最好, 在竖向荷载为 40 kPa 时坡体滑动尚小。这主

要是由于排列方式 1 的交替排列减少了贯穿缝且插入土中的尾翼提高了坡体与土工袋的整体性从而减少了坡体的水平位移, 也验证了排列 1 的加固效果最好。

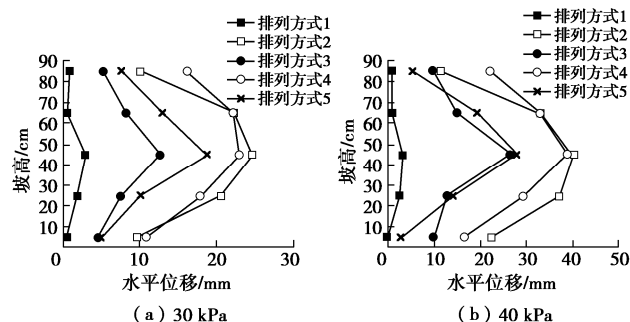


图 9 5 种不同排列方式下坡体水平位移对比

Fig. 9 Comparison of horizontal displacements of downhill slopes with five different arrangements

## 4 结 论

本文基于室内模型试验研究了土工袋的排列方式对砂性土质边坡加固效果的影响及其规律, 并基于试验结果分析了土压力水平、竖直方向传递规律以及坡体水平位移变化趋势, 可以得到以下 3 点结论。

(1) 在 5 种土工袋排列方式中, 纵横层间交替排列(排列方式 1)的加固效果最好, 滑裂面最深, 坡体承载力最大。尾翼埋入坡体越多, 层内相互约束作用越强, 挡墙层间嵌固作用越强, 对坡体的变形约束越强, 土工袋加固效果就越好。

(2) 土压力在竖直方向呈非线性分布, 总体来说在坡体中间偏下区域(坡高 25 cm 处)土压力达到最大, 边坡加固效果越好土压力分布相对越均匀; 土压力在水平方向上分布沿加载板中心向两侧递减。

(3) 坡体水平位移在不同载荷下呈现出相似的特点。即坡体水平位移自上到下先增大后减小, 在坡的中间区域达到最大水平位移, 在相同竖向荷载作用下排列方式 1 的位移最小, 加固效果最好。

### 参考文献:

- [1] 白少辉, 张建军. 地质灾害治理工程中的边坡稳定性问题[J]. 世界有色金属, 2019(18): 216, 218. (BAI Shao-hui, ZHANG Jian-jun. Slope stability in geological disaster control engineering[J]. World Nonferrous Metals, 2019(18): 216, 218. (in Chinese))
- [2] 陶志刚, 张海江, 彭岩岩, 等. 滑坡监测多源系统云服务平台架构及工程应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 36(7): 1649 - 1658. (TAO Zhi-gang, ZHANG Hai-jiang, PENG Yan-yan, et al. Frame structure and engineering applications of multi-source system cloud service platform for landslide

- monitoring[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, **36**(7): 1649 - 1658. (in Chinese))
- [3] 渠风英. 边坡加固方法浅析[J]. 山西建筑, 2011, **37**(22): 72 - 73. (QU Feng-ying. Analysis of slope reinforcement method [J]. Shanxi Architecture, 2011, **37**(22): 72 - 73. (in Chinese))
- [4] 栾茂田, 李敬峰, 肖成志, 等. 土工格栅加筋挡土墙工作性能的非线性有限元数值分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, **24**(14): 2428 - 2433. (LUAN Mao-tian, LI Jing-feng, XIAO Cheng-zhi, et al. Numerical analysis of performance of geogrids reinforced retaining walls by nonlinear FEM[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, **24**(14): 2428 - 2433. (in Chinese))
- [5] ZHOU Y, ZHU Y. Study on dynamic stability of grillage flexible slope supporting structure with prestressed anchors under rainfall infiltration[C]// 2011 International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE), 2011, Lushan.
- [6] 江学辉. 土工袋技术加固膨胀土边坡机理及数值模拟[D]. 南昌: 南昌航空大学, 2013. (JIANG Xue-hui. The Study on Mechanism of Strengthening Expansive Soil with Soil Bag and Numerical Simulation[D]. Nanchang: Nanchang Hangkong University, 2007, (in Chinese))
- [7] 刘斯宏, 汪易森. 土工袋技术及其应用前景[J]. 水利学报, 2007, **38**(增刊 1): 644 - 648. (LIU Si-hong, WANG Yi-sen. Reinforcement mechanism of soilbags and its applications[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, **38**(S1): 644 - 648. (in Chinese))
- [8] SAATHOFF F, OUMERACI H, RESTALL S. Australian and German experiences on the the use of geotextile containers[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2007, **25**: 251 - 263.
- [9] 刘斯宏, 松冈元. 土工袋加固地基新技术[J]. 岩土力学, 2007, **28**(8): 1665 - 1670. (LIU Si-hong, MATSUOKA H. A new earth reinforcement method by soilbags[J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, **28**(8): 1665 - 1670. (in Chinese))
- [10] 刘斯宏, 薛向华, 樊科伟, 等. 土工袋柔性挡墙位移模式及土压力研究[J]. 岩土工程学报, 2014, **36**(12): 2267 - 2273. (LIU Si-hong, XUE Xiang-hua, FAN Ke-wei, et al. Study on the earth pressure and deformation mode of a retaining wall constructed with soilbags[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, **36**(12): 2267 - 2273. (in Chinese))
- [11] 刘斯宏, 高军军, 王子健, 等. 土工袋技术在市政沟槽回填中的应用研究[J]. 岩土力学, 2014, **35**(3): 765 - 771. (LIU Si-hong, GAO Jun-jun, WANG Zi-jian, et al. Application of geotextile bag to urban trench backfill[J]. Rock and Soil Mechanics, 2014, **35**(3): 765 - 771. (in Chinese))
- [12] 毕鑫洋. 土工袋地基处理加固技术发展前景[J]. 山西建筑, 2016, **42**(31): 80 - 81. (BI Xing-yang. Development prospect of geotechnical bag foundation treatment and reinforcement technology[J]. Shanxi Architecture, 2016, **42**(31): 80 - 81. (in Chinese))
- [13] 李玲君, 刘斯宏, 徐小东, 等. 袋内材料对土工袋动力特性参数影响的试验研究[J]. 岩土力学, 2015, **36**(1): 131 - 136, 142. (LI Ling-jun, LIU Si-hong, XU Xiao-dong, et al. Experimental study of effects of soil fills on dynamic characteristics parameters of soil-bags[J]. Rock and Soil Mechanics, 2015, **36**(1): 131 - 136, 142. (in Chinese))
- [14] 高军军, 刘斯宏, 王柳江. 竖向荷载下土工袋的有限元数值模拟[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2014, **42**(6): 524 - 528. (GAO Jun-jun, LIU Si-hong, WANG Liu-jiang. Numerical simulation of a soilbag under vertical loads by FEM[J]. Journal of Hohai University( Natural Sciences), 2014, **42**(6): 524 - 528. (in Chinese))
- [15] 任秋兵, 王艳巧, 李 嫻, 等. 土工袋参数对土质边坡加固效果及特性的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2019, **38**(增刊 1): 3215 - 3221. (REN Qiu-bing, WANG Yan-qiao, LI Xian, et al. Experimental study of influences of soilbag parameters on reinforcement and characteristics of soil slopes[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2019, **38**(S1): 3215 - 3221. (in Chinese))
- [16] MATSUOKA H, LIU S H. New earth reinforcement method by geotextile bag (Donow)[J]. Soils and Foundations, 2003, **43**(6): 173 - 188.

(编校: 孙振远)