

· 地基与基础 ·



长江下游特拉锚垫防护结构下 土质岸坡稳定性研究*

田 鹏, 付旭辉, 赵 航

(重庆交通大学, 国家内河航道整治工程技术研究中心, 重庆 400074)

摘要: 玉带洲位于长江下游段, 岸坡后方存在大型湖泊, 坡后渗流问题较为严重。为确保岸坡安全, 提高岸坡整体稳定性, 减少水土流失量, 需要对岸坡进行合理的防护处理。通过物理模型分别模拟岸坡在特拉锚垫防护结构、裸土段的渗流情况进行对比试验, 设置若干观测点, 运用 MATLAB 软件绘制岸坡渗流前后三维地形图, 观测岸坡设置点的位移情况。结果表明, 渗流后有特拉锚垫防护结构的观测点最大位移量为 2 cm, 裸土段最大位移量为 5.1 cm; 特拉锚垫段渗流前后的地形图趋于吻合, 说明特拉锚垫对于坡后渗流有较好的防护效果。

关键词: 岸坡稳定; 坡后渗流; 特拉锚垫; 防护性能

中图分类号: U 617.8

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)02-0126-05

Stability of soil coast slope under protective structure of Terra blok mat in lower reaches of the Yangtze River

TIAN Peng, FU Xu-hui, ZHAO Hang

(National Inland Waterway Rehabilitation Engineering and Technology Research Center,
Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Yudai Island is located in the lower reaches of the Yangtze River, there is a large lake behind the shore slope, so the problem of post-slope seepage is serious. To ensure the safety of the shore slope, improve the overall stability of the shore slope, and reduce the amount of soil erosion, the shore slope needs to be reasonably protected. Through the physical model, we simulate the seepage of the shore slope under the protective structure of the Terra blok mat and the shore slope of the bare soil section to carry out the comparison test, set several observation points, use MATLAB software to draw the three-dimensional topographic map before and after the seepage, and observe the displacement of the shore slope setting points. The results show that the maximum displacement of the observation point with the protection structure of the Terra blok mat after seepage is 2 cm, and the maximum displacement of the bare soil segment is 5.1 cm. The topographic maps of the Terra blok mat section before and after seepage are consistent, which can illustrate that the Terra blok mat has a good protective effect on post-slope seepage.

Keywords: shore slope stability; post-slope seepage; Terra blok mat; protective performance

我国在护岸技术应用方面较为广泛, 可大致分为传统护坡和新型护坡两类。传统护坡形式有干砌石护坡、石笼网护坡、混凝土板护坡等类型;

新型护坡形式有三维土工网垫、串珠式柔性生态护坡构件、雷诺护垫、植被混凝土护坡等^[1]。王远明等^[2]认为石笼网护坡在岸坡生态防护工程中

收稿日期: 2020-05-19

*基金项目: 重庆市技术创新与应用示范专项重点研发项目(cstc2018jszx-zdyfmx00021-05)

作者简介: 田鹏(1994—), 男, 硕士研究生, 从事生态航道研究。

应用较为广泛, 能够降低渗流引起的岸坡失稳概率。吴春澍等^[3]认为混凝土板护坡对于防护岸坡有很好的应用效果。李连胜等^[4]对三维土工网垫护岸进行研究, 分析了土工网垫对岸坡防护的性能。钟荣华等^[5]认为串珠式柔性生态护坡构件可用于稳定岸坡。苏彬等^[6]认为雷诺护垫作为一种生态护坡技术, 对于治理河道起着非常重要的作用。

传统型护坡对于渗流引起岸坡失稳有很好的防护效果, 但是破坏了生态环境, 让岸坡景观功能丧失。新型护坡结构在护岸方面, 抗土壤侵蚀较好, 但存在施工复杂、植被覆盖率低等缺点。特拉锚垫技术是一种新型的岸坡生态修复技术, 具有提高岸坡稳定性、抗土壤侵蚀性强、植物能无障碍穿透生长、植物覆盖率高, 且具有施工简单、经久耐用、维护成本低廉等优点。

玉带洲位于安徽省池州市东流镇东流水道, 历来是长江下游重点浅险水道之一, 随着航运等级的提高, 岸坡问题也随之而来, 由于船舶较多, 船行波给岸坡带来的冲击也较为频繁。另外下游雨水较为丰富, 泄水能力较弱, 常导致岸坡渗流失稳坍塌, 水土流失较为严重^[7]。鉴于此, 本文针对玉带洲典型土质岸坡, 借助模型试验方法研究坡后渗流不利条件下对岸坡稳定性的影响, 并分析特拉锚垫防护结构对土质岸坡的适用性。

1 特拉锚垫防护技术

特拉锚垫防护技术为重庆交通大学联合中交三航(重庆)生态修复研究院有限公司、重庆诺为生态环境工程有限公司共同研发的生态护坡新结构, 将植被措施与工程措施有机结合, 其适用于江河湖泊生态岸坡和库区消落带的生态修复。

特拉锚垫技术采用特拉锚+反滤层(或复合海绵层)+草皮增强垫的结构, 见图 1。用特拉锚将草皮增强垫和反滤层固定在坡面上, 可在增强垫与反滤层之间形成草本植物层, 营造生态河道的植被岸坡。该技术适用于坡体结构稳定的土质或者硬质岸坡, 尤其是水位变化区间内的河段。

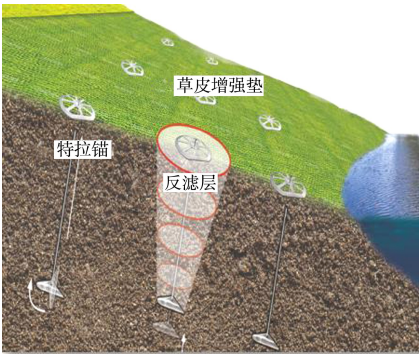


图 1 特拉锚垫技术原理

特拉锚是由锚头、承载板和锚索构成。锚头可以旋转(图 2), 采用辅助工具使锚头垂直锚入土体, 通过专用工具的拉拔使锚头旋转至水平位置, 提供最大的抗拉拔力; 在拉拔锚头同时, 使承载板靠近接触面一侧移动, 实现承载板自锁定, 实现快速锚固锁定, 有效固定土体表面材料, 紧固地表附属设施, 提供给土体一个垂直坡面向内的作用力, 提高岸坡稳定性。

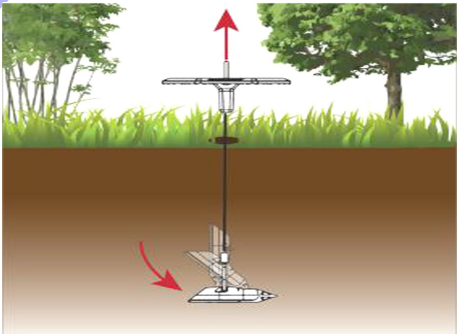


图 2 特拉锚

反滤层由复合土工膜组成, 具有长期透水不淤堵的性能, 极大程度保证了泥沙稳定减少冲刷, 见图 3。

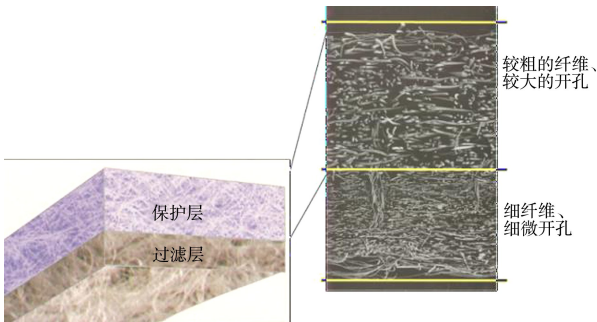


图 3 反滤层

草皮增强垫由聚丙烯制成，采用具有稳定、精确、高强度的三维矩阵结构，保证了草皮增强垫的一致性和整体强度，并具有长期耐久性，可以抵抗物理、化学、生物和紫外线损伤，可提供高效的侵蚀控制和植被加固，保护植物的根茎，见图 4。

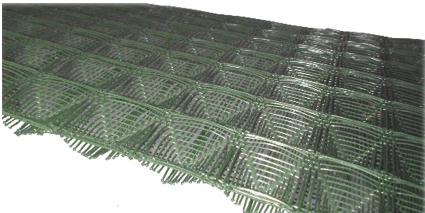


图 4 草皮增强垫

2 现场模型试验及分析

2.1 土体物性力学指标

现场土质以褐色粉土、粉质黏土为主，对采回的土样进行密度、含水量和相对密度试验，其各项指标均进行二次平行测定，按 GB/T 50123—2019《土工试验方法标准》的要求分析计算，作为试验结果。

2.1.1 土体各项物性指标

经计算，现场土样平均含水率为 6.42%，使用环刀法计算土体的平均湿密度为 1.86 g/cm³，环刀取样见图 5，通过比重瓶法得到土样的平均相对密度为 2.71。



图 5 环刀取样

2.1.2 土体岩土体力学指标

4 个土样按荷载 100、200、300、400 kPa 分级加载并剪切，剪切试验见图 6。试验剪切破坏时对应的峰值剪应力计算公式为：

$$\tau_{fi} = C_1 R_{max} \tag{1}$$

式中： τ_{fi} 为在第 i 级竖向应力 p_i 作用下，试验发生剪切破坏时的剪应力峰值； C_1 为测力计的率定系数； R_{max} 为测力计最大读数值。通过试验，得出土体黏聚力 c 为 3.3 kPa、内摩擦角 φ 为 15.0°。

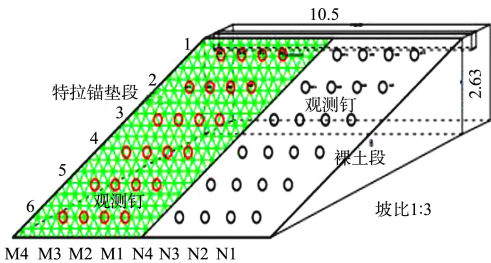


图 6 剪切试验

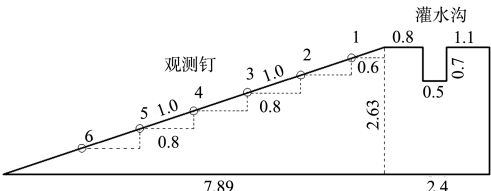
2.2 现场试验布置

2.2.1 岸坡设计及观测点设置

为了研究特拉锚垫防护结构在玉带洲的适用性，在玉带洲岸坡附近摊铺 1:3 的坡，使用机器反复碾压，使之与天然岸坡密实度几乎一致，在坡顶开挖一条长度一致、宽 0.5 m、深 0.7~0.8 m 的灌水沟，模拟渗流条件下对岸坡稳定的影响，在坡面上分为裸土段和特拉锚垫段，特拉锚垫因其延伸至坡顶、坡脚，故尺寸设置为长 10 m、宽 5.2 m。每段坡面分别设置若干个观测点，并涂满红色油漆铁钉便于观察，每个观测钉水平等间距 0.8 m，找一个基点用全站仪进行观测点读数并记录观测钉原始数据，岸坡设计和纵坡面见图 7。



a) 岸坡设计



b) 岸坡纵坡面

图 7 岸坡设计及纵坡面 (单位: m)

2.2.2 实施方案

待坡体铺设完全后, 向坡顶灌水沟内灌水模拟坡后渗流情况。为准确模拟现场渗流情况, 灌水沟用不透水材料进行垫底, 用打桩、碎石进行固定, 确保灌水沟内水往岸坡一侧渗流。随后灌满至沟槽 2/3 处, 进行连续不断的灌水并维持水位高度, 观测岸坡在水流渗流条件下的变化情况。通过固定基点, 读取渗流前后观测钉数据, 把所有数据转换为相应 xyz 三维坐标, 坡顶灌水 1 周后

进行读取数据。

2.3 误差及位移量分析

为了保证现场观测数据的可靠性, 采用全站仪进行读取, 选取多个基点, 对同一观测点进行观测, 目的在于改善位移量较小不易观测的局限, 减小人为读数误差, 最后利用激光测距仪进行校准, 保证数据读取误差在可控范围内, 各观测点渗流前后坐标见表 1。

表 1 各观测点位置坐标					
阶段	行	特拉锚垫段坐标(x,y,z)/m			
		M4 列	M3 列	M2 列	M1 列
渗流前	1	(10. 302,7. 004,2. 742)	(10. 251,6. 211,2. 751)	(10. 177,5. 416,2. 784)	(10. 199,4. 652,2. 780)
	2	(9. 360,7. 102,2. 405)	(9. 299,6. 315,2. 402)	(9. 235,5. 505,2. 415)	(9. 178,4. 690,2. 415)
	3	(8. 436,7. 174,2. 034)	(8. 365,6. 386,2. 015)	(8. 300,5. 597,2. 028)	(8. 255,4. 778,2. 016)
	4	(7. 508,7. 247,1. 683)	(7. 452,6. 460,1. 664)	(7. 389,5. 652,1. 670)	(7. 329,4. 864,1. 670)
	5	(6. 567,7. 333,1. 327)	(6. 513,6. 692,1. 321)	(6. 455,5. 733,1. 339)	(6. 390,4. 939,1. 317)
	6	(5. 659,7. 429,0. 976)	(5. 584,6. 622,0. 965)	(5. 511,5. 830,1. 005)	(5. 415,5. 032,1. 013)
渗流后	1	(10. 307,7. 002,2. 745)	(10. 254,6. 212,2. 771)	(10. 179,5. 412,2. 788)	(10. 125,4. 614,2. 784)
	2	(9. 352,7. 094,2. 402)	(9. 298,6. 307,2. 413)	(9. 231,5. 501,2. 412)	(9. 175,4. 681,2. 416)
	3	(8. 432,7. 171,2. 034)	(8. 370,6. 369,2. 018)	(8. 303,5. 584,2. 026)	(8. 252,4. 770,2. 027)
	4	(7. 504,7. 252,1. 680)	(7. 441,6. 466,1. 666)	(7. 385,5. 644,1. 677)	(7. 315,4. 862,1. 669)
	5	(6. 563,7. 332,1. 326)	(6. 499,6. 720,1. 319)	(6. 442,5. 740,1. 341)	(6. 379,4. 945,1. 318)
	6	(5. 644,7. 430,0. 978)	(5. 576,6. 634,0. 965)	(5. 512,5. 824,1. 003)	(5. 440,5. 041,1. 014)
阶段	行	裸土段坐标(x,y,z)/m			
		N4 列	N3 列	N2 列	N1 列
渗流前	1	(10. 061,3. 992,2. 706)	(10. 006,3. 000,2. 761)	(9. 934,1. 987,2. 759)	(9. 852,0. 989,2. 738)
	2	(9. 111,4. 066,2. 403)	(9. 038,3. 080,2. 398)	(8. 969,2. 079,2. 411)	(8. 895,1. 961,2. 402)
	3	(8. 078,4. 087,2. 019)	(8. 129,3. 156,2. 019)	(8. 051,2. 163,2. 010)	(7. 968,1. 168,2. 022)
	4	(7. 286,4. 239,1. 673)	(7. 215,3. 250,1. 659)	(7. 129,2. 253,1. 676)	(7. 042,1. 253,1. 689)
	5	(6. 322,4. 325,1. 335)	(6. 247,3. 337,1. 312)	(6. 618,2. 339,1. 322)	(6. 098,1. 340,1. 348)
	6	(5. 398,4. 418,0. 988)	(5. 321,3. 428,0. 987)	(5. 238,2. 423,0. 993)	(5. 162,1. 431,1. 004)
渗流后	1	(10. 065,3. 987,2. 757)	(10. 002,2. 991,2. 753)	(9. 931,1. 990,2. 759)	(9. 849,0. 988,2. 759)
	2	(9. 107,4. 066,2. 406)	(9. 042,3. 080,2. 401)	(8. 967,2. 080,2. 411)	(8. 894,1. 073,2. 401)
	3	(8. 201,4. 148,2. 021)	(8. 127,3. 162,2. 018)	(8. 047,2. 173,2. 014)	(7. 965,1. 166,2. 023)
	4	(7. 281,4. 241,1. 683)	(7. 202,3. 251,1. 662)	(7. 120,2. 249,1. 675)	(7. 045,1. 252,1. 688)
	5	(6. 328,4. 325,1. 323)	(6. 249,3. 341,1. 315)	(6. 181,2. 336,1. 324)	(6. 101,1. 344,1. 350)
	6	(5. 400,4. 420,0. 989)	(5. 324,3. 433,0. 990)	(5. 242,2. 428,0. 996)	(5. 163,1. 435,1. 005)

一共测 2 组数据即 96 个观测钉的数值, 由于观测时间短, 观测点只是微移。 z 轴方向, 特拉锚垫段观测钉(M31,指 M3 列第 1 行)的位移最大量为 2 cm, 裸土段观测钉(N41)的最大位移量为

5.1 cm。为了更明显地看出观测点的位移情况, 坐标数据运用数学软件 MATLAB 内的 surf 指令绘制三维曲面图按比例进行整体放大对比, 以便于观测持续渗流 1 周后位移变化情况, 见图 8。

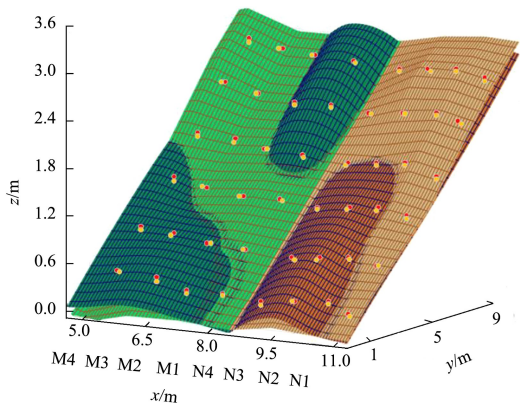


图 8 坡体渗流前后三维曲面

由图 8 能明显看出，曲面颜色深的部分为渗流前后重合部分，颜色较浅的部分存在着相应位移，图中深色观测钉代表渗流前观测点位置，浅色观测钉代表渗流后位置，忽略数值读数误差影响，可得出以下结论：

1) 坡后渗流前后，坡体存在局部位移，且局部位移量裸土段较特拉锚垫段要大，说明特拉锚垫防护结构在渗流情况下对坡体有一定的稳定作用。

2) 根据图 8 中观测钉的位移情况再结合实际读取数据，可得左侧特拉锚垫段观测钉渗流前后有一定的相对位移，且多半位于坡体的上半部分。右侧部分观测钉发生位移的数量较左侧多，且多数位于坡体上半部分，说明灌水沟内大部分往坡体中间渗流，因为灌水沟底部与背后铺设了不透水垫，灌水沟内水产生向坡体表面方向的压强，使半坡以上的坡体短期内先渗透贯穿，较早出现位移。

3) 坡体两侧位移量较中间小，特拉锚垫段 M3 列和裸土段 N4 列观测钉渗流前后都存在明显的位移变化，可能原因在于该处顶部密实度较小，率先被渗透贯穿，引起相应列各点位移发生改变。裸土段 N3、N2 列间位移量最大，原因可能是此处无防护结构，一侧受特拉锚垫影响，一侧受试验边界影响，故中间是最薄弱环节，渗流量较大。

2.4 坡体变形预测

根据表 1 及图 8 可知，渗流 1 周后，观测钉整体位移量较小，大多控制在 5 mm 以内，但局部存在较大位移，特拉锚垫最大位移观测钉为 M31，位移量为 2 cm，裸土段最大位移观测钉为 N41，

位移量为 5.1 cm。原因可能是 M31 和 N41 处密实度较小，又处于特拉锚垫和裸土段最上部，接近灌水沟，导致局部率先被渗透贯穿，水流渗出，观测钉位移变化较为明显。可以预测该坡体在长时间的坡后渗流下，坡体最先渗透失稳的是裸土段的 N41 部分，局部水土流失达到一定程度，N41 周围观测钉受到影响，逐渐失稳坍塌，最后引起整个裸土段的失稳破坏。而特拉锚垫段最先渗透贯穿的是观测钉 M31，由于特拉锚垫存在反滤层，渗透后反滤层能够减少水土流失，局部位移不会贯穿加剧，加之特拉锚的存在，局部位移会趋于稳定值，不会影响岸坡整体稳定性，特拉锚能够为土壤提供一个垂直于坡面向内的作用力，有效抵抗土壤失稳坍塌，所以特拉锚垫段在长时间的渗流情况下岸坡不会大幅度变形，相反会趋于稳定。

3 结语

1) 在工程现场坡后渗流情况下，有特拉锚垫防护结构一侧，观测钉整体位移量更小。

2) 可以预测该坡体在长时间的坡后渗流下，坡体最先渗透失稳的是裸土段的观测钉 N41 部分，然后逐渐引起整个裸土段的失稳破坏。而特拉锚垫段最先渗透失稳的是观测钉 M31，但反滤层能够减少水土流失，特拉锚能提供一个垂直于坡面向内的作用力，有效抵抗坡体变形，岸坡最终会趋于稳定。

3) 通过现场坡后渗流对比试验可以得出，特拉锚垫对于易发生坡后渗流而引起岸坡失稳坍塌的流域河段具有较好的适用性。

4) 特拉锚垫是一种环境友好型生态修复技术，不仅结构自身具有一定的稳定岸坡的能力，特拉锚垫上还可结合多种植被生长共同作用，植物根茎能穿透其间，根系与泥土连接一起可增强岸坡的抗冲刷性能，防护岸坡水土流失。因此，在玉带洲岸坡防护实际工程中，可以运用特拉锚垫结构并在锚垫上播撒草籽，生长的植物能够结合防护结构抵抗坡后渗流等不利影响，降低坡体失稳坍塌隐患。另外也可在坡脚设置挡土墙，并设置排水沟措施，进一步提升岸坡整体的稳定性。