

附件 2

《生态护坡 特拉锚垫应用指南》

(☒ 征求意见稿 ☐ 送审稿 ☐ 报批稿)

编制说明

主编单位： 重庆交通大学

2021 年 11 月 12 日

编制说明

一、工作简况

1.任务来源

特拉锚垫是由特拉锚和草皮增强垫组成的坡面防护系统，能对坡面提供有效的侵蚀防护，同时实现植被的完全建植，防止坡体的浅层滑移。该结构主要应用于湖库消落带治理、河道护坡、景观绿化、水土保持等工程。目前已经成功应用于长江中、上游库区消落带治理、平原开挖河道以及城市景观河道项目中。特拉锚垫系统顺利实施并获得良好效果后，将为坡面防护提供实用创新的解决方案，为江河湖库治理带来根本性的技术革新，并可以迅速推广，因此，迫切需要制定应用规程。

2.主要工作

（1）特拉锚垫的材料基本性能研究，包括针对草皮增强垫平面内和平面外的抗拉性能监测；对草皮增强垫进行紫外线照射模拟试验研究，确定其耐久性。

（2）设计方法研究，分析特拉锚垫应用场景下面临的各种可能发生或存在的荷载，包括自重荷载、施工荷载、风荷载、水流和波浪荷载等。并针对不同的边坡进行特拉锚垫在不同边坡上的荷载分解和平衡。通过理论分析和试验分析互相验证，得到特拉锚在土体中的抗拉拔试验研究。通过对特拉锚的锚固深度和间距设计布置，实现外荷载的平衡，保证特拉锚垫在使用过程中的稳定性，保证工程实施效果。

（3）施工工艺研究。特拉锚垫是一种新的生态护岸工程技术措

施，为了能更好更顺利的进行产业开发和产业推广，因此需要对其在实施的全过程进行预演和推演，并结合相应的试验示范项目，对其施工流水节拍和施工工效进行设计和优化，对材料搭接、材料铺设安装、固定打锚等多个工序进行详尽的研究，确定最优的施工工艺。

（4）特拉锚垫检测参数和检测方法的研究。作为一种工程技术措施，对其施工实施后的质量评判也是研究的重要内容。因此本标准还将针对其抗冲刷抗侵蚀性能进行室内的定量研究，对草皮增强垫、草皮增强垫+植被、纯种草植被等几种工况进行冲刷性能进行室内水槽内的试验对比研究，并利用测针等判断特拉锚垫系统的抗冲刷性能指标。另外还将针对现场实施中的问题，提出材料的抽检比例和合格标准，提出特拉锚承载能力的抽检比例和合格标准。提出整套系统的特拉锚垫质量检测方案。

3.主要起草人及其所做的工作

表 1 主要起草人及其工作内容

姓名	工作单位	职称/职务	从事专业	工作内容
梁越	重庆交通大学	教授	水利工程	统筹
胡江	重庆交通大学	教授	水利工程	技术负责
付旭辉	重庆交通大学	副教授	水利工程	顾问
叶合欣	广东省水利水电技术中心	教授级高工	水利水电工程地质	顾问
杨德宏	中交三航（重庆）生态修复研究院有限公司	高级工程师	港口航道与海岸工程	技术负责
季景远	中交三航（重庆）生态修复研究院有限公司	高级工程师	港口航道与海岸工程	顾问
简涛	中交三航（重庆）生态修复研究院有限公司	工程师	水利工程	具体编制
李莉	中交三航（重庆）生态修复研究院有限公司	工程师	水利工程	具体编制

姓名	工作单位	职称/职务	从事专业	工作内容
纪敬辉	中交三航（重庆）生态修复研究院有限公司	工程师	水利工程	具体编制
袁以美	广东水利电力职业技术学院	高级工程师	水利技术管理	具体编制
邢冰	重庆交通大学	副教授	水利工程	具体编制
陈晴空	重庆交通大学	副教授	水利工程	具体编制
尹衍栋	中交三航（重庆）生态修复研究院有限公司	工程师	园林规划与设计	具体编制
张利	中交三航（重庆）生态修复研究院有限公司	工程师	水利工程	具体编制
黄亦斐	重庆诺为生态环境工程有限公司	助理工程师	工业设计	具体编制

二、主要内容说明及来源依据

1.特拉锚垫系统材料标准

表 2 草皮增强垫性能指标表

序号	项目	单位	指标
1	聚丙烯材料	%	100
2	厚度	mm	7±1
3	开孔率	%	96±2
4	纵向标称拉伸强度	kN/m	≥ 45
5	横向标称拉伸强度	kN/m	≥ 35
6	纵向标称拉伸强度下的延伸率	%	≤ 25
7	横向标称拉伸强度下的延伸率	%	≤ 25
8	割线模量, (0.5%)	kN/m	≥ 4
9	耐紫外安定性	/	100% (500hr) 90% (3000hr)

表 3 特拉锚性能指标表

序号	项目	单位	指标
1	破坏拉力	kN	≥ 7.0
2	耐腐蚀性	/	5 级以上

表 4 其他构件性能指标表

螺旋钉			
序号	项目	单位	指标
1	材质	/	304 不锈钢以上
2	直径	mm	3±0.03
3	锚固深度	mm	≥ 300
特拉钉			

序号	项目	单位	指标
1	聚丙烯材料	%	100
2	锚固深度	mm	≥ 300

2.特拉锚垫设计标准

2.1 特拉锚可靠度

特拉锚垫系统的可靠度或安全性应符合公式（1）规定：

$$R_d \geq \gamma_0 S_d \quad (1)$$

式中：

γ_0 ——结构安全系数，其值一般取 1.2~1.5 之间；

R_d ——结构抗力设计值，计算取值详见《生态护坡 特拉锚垫应用指南》附录 D；

S_d ——组合荷载效应力设计值，计算取值详见《生态护坡 特拉锚垫应用指南》附录 D。

2.2 特拉锚设计计算

设计采用的特拉锚轴线极限抗拔力标准值应符合以下规定：

- a) 宜优先通过特拉锚静载试验确定。
- b) 当土质单一时，可参照《生态护坡 特拉锚垫应用指南》附录 C。
- c) 当不具备上述两项条件时，可根据土的物理指标与抗拔力参数之间的经验关系，确定特拉锚轴向极限抗拔力标准值，按公式（2）计算：

$$Q_{uk} = \gamma \left(h - \frac{d}{2} \right) \pi d \cot \theta + \pi d \left[c + \gamma \left(h - \frac{d}{2} \right) (\cos \theta + K_0 \sin \theta) \tan \varphi \right] \quad (2)$$

式中:

Q_{uk} ——特拉锚轴向极限抗拔力标准值 (kN) ;

θ ——坡角 ($^{\circ}$) ;

γ ——锚头上覆土体的重度 (kN/m³) ;

h ——锚固深度 (m) ;

c ——锚头端土体的粘聚力 (kPa) ;

φ ——锚头端土体的内摩擦角 ($^{\circ}$) ;

d ——被影响土体的等效截面直径 (m) , $d = (0.6 \sim 0.8) a$, a 为锚头长度;

K_0 ——锚头端土体静止土压力系数, 可由试验确定或 $K_0 = 1 - \sin \varphi'$ (φ' 为土体的有效内摩擦角) ; 无试验资料时, 可按表 5 选取。

表 5 静止土压力系数

土类	土状态	K_0
砾类土 G	—	0.22~0.40
砂类土 S	—	0.30~0.60
低液限粉土 ML 低液限黏土 CL	坚硬或硬塑	0.40
	可塑	0.52
	软塑或流塑	0.64
高液限黏土 CH	坚硬或硬塑	0.40
	可塑	0.64
	软塑或流塑	0.87

2.3 特拉锚轴向抗拔力计算

(1) 特拉锚轴向抗拔力应符合下列要求:

荷载效应标准组合轴向力作用:

$$N_K < R$$

式中: N_K ——荷载效应标准组合下, 作用于特拉锚的轴向力;

R ——特拉锚轴向抗拔力特征值。

(2) 特拉锚轴向承载力特征值 R 应按下列式确定

$$R = \frac{1}{k} Q_{uk}$$

式中: Q_{uk} ——特拉锚轴向极限抗拔力标准值;

k ——安全系数, 取 $k=1.5$ 。

3. 浅层稳定计算

边坡浅层稳定计算采用直线破裂面法, 按下式计算:

$$K = \frac{(c_r + \tau)L + P_m \cos(\alpha + \delta) + S_a}{W \sin \alpha + W k_h \cos \alpha}$$

式中:

W ——表示土单元重量;

L ——表示特拉锚的横向间距;

α ——表示坡角;

k_h ——表示水平地震系数;

τ ——表示有效切向应力;

c_r ——表示浅层滑动面附近的植物根部凝聚力;

P_m ——表示特拉锚的张拉力;

S_a ——表示特拉锚有效抗剪强度;

δ ——表示特拉锚打入后的水平倾角。

4. 主要试验分析

4.1 水土保持性能试验

在概化水槽两侧布置 1: 1 坡比的原型土体模拟库区消落带的岸坡, 沿程分别铺设特拉锚垫防护段和对比参照段(保持土体表面)。

试验过程中,调节输入流量和尾水位,控制试验段流速分别为 0.4m/s、0.7m/s、1.0m/s、1.2m/s、1.5m/s、1.8m/s。观测试验段铺设特拉锚垫区域和对比参照区域的岸壁冲刷参数,分析得到特拉锚垫对岸坡的水土保持能力。



图 1 试验水槽

模拟的近岸水流侵蚀以面蚀为主,多次冲刷试验后特拉锚垫下覆土体整体上较为平整,没有观测到明显的破坏上到下呈现的是从直线向弧线再向直线变化,说明水下地形中下部的冲刷率比上部要大,造成这一现象的原因是坡面上部和坡脚处的水流功率较小。



图 2 特拉锚垫系统防护段及无防护段断面冲刷对比情况 ($U=1.5\text{m/s}$)



图3 特拉锚垫系统防护段及无防护段断面冲刷对比情况 (U=1.7m/s)

试验结果表面，水流流速小于 1.7 m/s 时，特拉锚垫的侵蚀强度较裸坡平均减少了 91.5% ，特拉锚垫的防护作用随流速的增加而增强。

4.2 植被抗冲刷性能试验

在水槽试验段的特拉锚垫上种植选定水生植物，待植物生长至 2-3cm 高度时(生长稳定) 开始进行植被抗冲刷试验。用 55L/s 和 190L/s 的流量对试验段进行冲刷，当植被出现大面积明显脱离草皮增强垫的现象时，试验停止。该试验获得特拉锚垫上生长植物的最大抗冲刷能力。

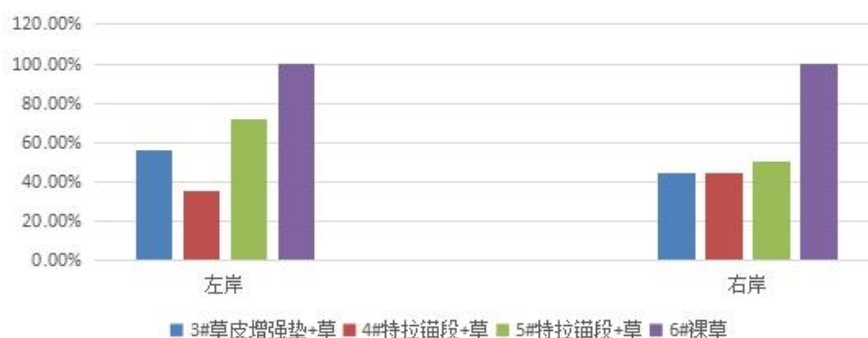


图4 55L/s 冲刷后草的减少率

经过 55L/s 的流量冲刷两个小时后，草皮增强垫+草段的植物存活率平均减少 26%，特拉锚垫段+草的植物存活率平均减少 19%。由此可见，特拉锚垫 81%的植物可以抵抗住 55L/s 流量的冲刷。完整的

特拉锚垫比单纯的草皮增强垫对植物的保护性能更好。

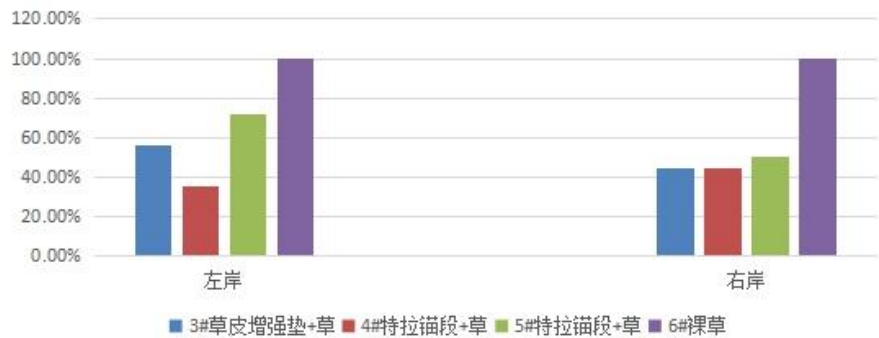


图 5 190L/s 冲刷后草的减少率

经过 190L/s 的流量冲刷两个小时后，草皮增强垫+草段的植物存活率平均减少 50%，完整的特拉锚垫段+草的植物存活率平均减少 51%。由此可见，特拉锚垫 49%的植物可以抵抗住 190L/s 流量的冲刷。

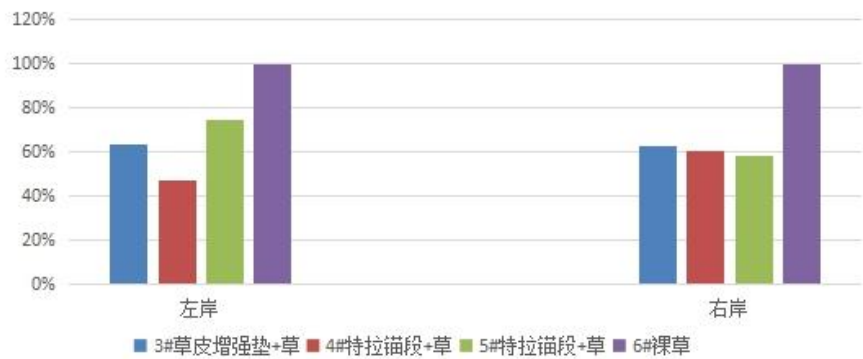


图 6 两次冲刷后草的减少率

在经过两级流量冲刷后，裸草段已无植物剩余，表明裸土对草的保护性能为 0；草皮增强垫段剩余平均植物量为 37%，而特拉锚垫段剩余平均植物量为 40%，由此可见，草皮增强垫与特拉锚垫对于植物都有保护作用，但特拉锚垫系统对植物保护性能更好。

4.3 黏土、粉土条件下的特拉锚承载力试验

前期试验共在选定 4 个试验区域，根据特拉锚的“锚固深度”将试验区域划分为 4 个组，分别为：0.3m、0.5m、0.8m 和 1.0m，每

组试验重复三次。

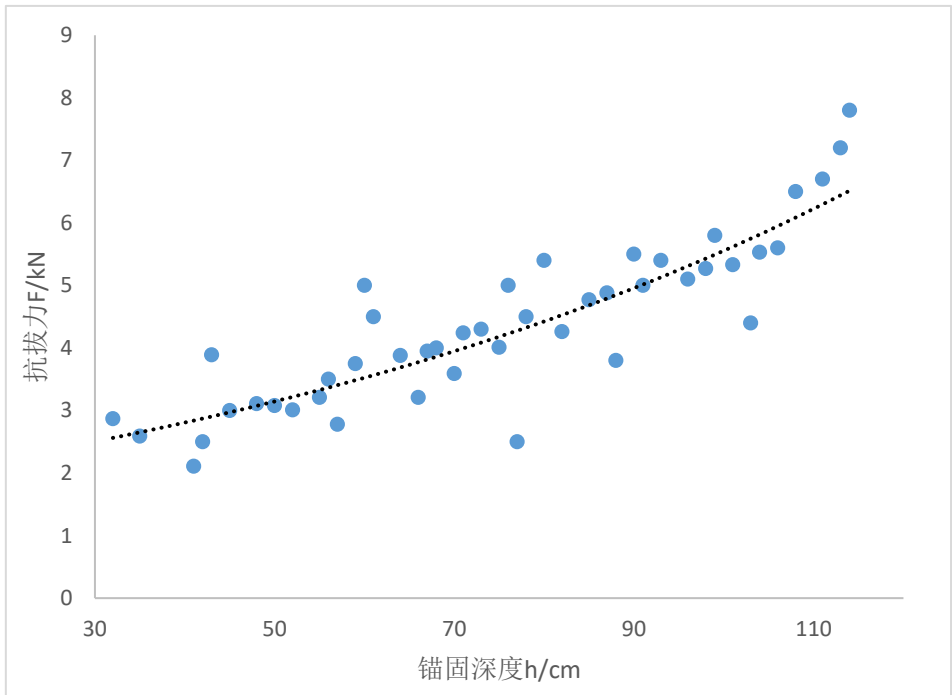


图 7 特拉锚抗拔力与锚固深度的关系图

试验数据表面，随着锚固深度的增大，特拉锚的抗拔极限承载力逐渐增大，但当深度持续增大时，抗拔力开始收敛，不再继续增加。通过试验初步认为特拉锚的锚固深度应该控制在 0.8m ~ 1.0m 之间，确保特拉锚可以承受坡面外荷载，特拉锚垫不会发生滑移。

根据前期试验结果确定了后期试验方案，对 0.8~1.0m 之间的抗拔力进行多次重复试验：

（1）选定 5 个砂土试验区域，分别确定出不同密实度的砂土的极限抗拔力，结果详见附录 C。

（2）选定 4 个粘土试验区域，分别确定出不同液性指数的粘土的极限抗拔力，结果详见附录 C。

三、专利情况说明

涉及专利见下表：

序号	专利名	专利类型	申请号
1	一种用于临水岸坡的生态防护层	发明	201910542100.X
2	一种用于临水岸坡的生态防护层（授权）	实用新型	ZL201920948201.2
3	一种用于绿化保护的植物钉（授权）	实用新型	ZL201921903527.X
4	用于在土体表面固定覆盖物的固定钉（授权）	实用新型	ZL201921763570.0
5	一种生物钉及其消落带岸坡绿化保护方法	发明	201911077151.6
6	自锚式轻质护岸系统	发明	202010671813.9
7	复合生态护坡系统	实用新型	202021573384.3
8	轻质护坡的施工方法	发明	202010794139.3

四、与相关标准的关系分析

本标准的技术参数、指标参照现行国家标准和行业标准，一些关键指标严于国家或行业标准，本标准的性能指标、检验方法与现行国家、行业等标准有较好的协调性。

目前没有关于特拉锚垫系统工程的国家或行业标准、地方标准、团体标准；其他省市也没有相关的类似标准。

五、重大分歧或重难点的处理经过和依据

无。

六、预期效益（报批阶段填写）

七、其他说明事项

无。