

打入型土工筒袋 在河道塌坡生态治理中的应用

陈亚军¹, 张玉龙², 李 宁¹, 于际凯¹, 孙 浩¹

(1. 徐州市水利建筑设计研究院有限公司, 江苏 徐州 221006; 2. 镇江市港口发展集团有限公司, 江苏 镇江 212004)

摘要: 通过将打入型土工筒袋与直立式预制桩组合技术在河道塌坡中应用, 能有效解决预制桩等直立式挡墙护岸结构在不能采取大开挖情况下挡土和滤水等方面存在的瓶颈问题。以八一大沟河道塌坡工程为例, 通过现场查勘及钻探工作, 查明了塌坡段规模及土性, 分析了塌坡成因, 并结合河道不能断流施工、临河道路不能中断交通等因素, 经经济技术比选选用坡顶灌注桩、坡脚管桩联合支护方案。在坡脚水位变化区采用不连续布置管桩+桩后土工筒袋措施, 成功解决了传统做法不易实施的问题, 达到了桩间防漏土以及桩前后水体交换的目的, 从而降低了云龙湖大坝坝后渗水出逸点高度, 且该治理方案造价相对较低并具有生态治理效果。

关键词: 打入型土工筒袋; 预制桩; 挡土; 滤水; 塌坡; 生态治理

中图分类号: TV861

文献标识码: A

文章编号: 1007-7839(2024)07-0042-0005

The application of driven geotextile canister bags in ecological treatment of river slope collapse

CHEN Yajun¹, ZHANG Yulong², LI Ning¹, YU Jikai¹, SUN Hao¹

(1. Xuzhou Water Conservancy and Architecture Design Institute Co., Ltd., Xuzhou 221006, China;

2. Zhenjiang Port Development Group Co., Ltd., Zhenjiang 212004, China)

Abstract: The application of the combination technology of driven geotextile bags and vertical prefabricated piles in river slope collapse can effectively solve the bottleneck problems of vertical retaining walls and bank protection structures such as prefabricated piles in retaining soil and filtering water when large excavation cannot be carried out. Taking the collapse project of the Bayi Dagou River as an example, through on-site investigation and drilling work, the scale and soil properties of the collapse section were identified, the causes of the collapse were analyzed, and combined with factors such as the inability to cut off the flow of the river and the inability to interrupt traffic on the riverside road, a combined support scheme of top grouting piles and foot pipe piles was selected through economic and technical comparison. The discontinuous arrangement of pipe piles and geotextile bags behind piles in the water level change area at the foot of the slope has successfully solved the problem of difficult implementation in traditional methods, achieving the purpose of preventing soil leakage between piles and exchanging water before and after piles, thereby reducing the height of the seepage point behind the Yunlong Lake Dam. Moreover, this treatment plan has a relatively low cost and ecological governance effect.

Key words: driven geotextile canister bags; prefabricated piles; retaining soil; filter water; slope collapse; ecological treatment

收稿日期: 2024-01-09

基金项目: 江苏省水利科技项目(2022009)

作者简介: 陈亚军(1979—), 男, 正高级工程师(水利工程)、高级工程师(建设工程), 硕士, 注册土木工程师(水利水电、岩土), 主要从事水利工程、岩土工程等方面的设计和科研工作。E-mail: 45688580@qq.com

自20世纪90年代以来,国内外不少专家学者和工程技术人员对生态护岸技术^[1-3]进行了研究,揭开了河道生态建设的序幕。党的“十八大”将生态文明纳入“五位一体”总体布局,以推进资源节约型和环境友好型社会建设,特别是在2021年3月15日习近平总书记主持召开的中央财经委员会第九次会议上,研究了实现碳达峰、碳中和的基本思路和主要举措,我国力争2030年前实现碳达峰,2060年前实现碳中和。实现碳达峰、碳中和是一场硬仗,是党中央经过深思熟虑做出的重大战略决策,事关中华民族永续发展和构建人类命运共同体。装配式预制构件可以从资源高效利用和减少碳排放的两方面来支持国家“碳中和”、“碳达峰”目标的实现^[4],但预制构件之间的接缝处理,一直是困扰行业扩大前行的主要壁垒。近年来,预制桩生态护岸逐步在水利工程中得到推广应用,但由于桩体施工主要是由锤击、振动或静压法将桩逐根打入土体,密排布置形成直立的桩墙结构,为挤土桩,在施工过程中,由于放样、设备和地质软硬差异的影响,势必造成桩基平面位置、垂直度偏差,故相邻桩间会存在一定的间隙,对于砂性土、风浪影响河道存在漏土的隐患,目前主要解决措施有滤和堵两种,滤,即是在桩墙后大开挖铺设土工布做反滤再回填;堵,即是在桩墙后设置防渗墙或在桩间樨槽内灌浆或填充止水胶条。但上述措施仍存在以下问题:反滤体需在预制桩挖除土体后才能敷设,安全性、经济性 & 可操作性均较低;堵的措施效果受桩体垂直度影响较大且会造成桩后水体无法排出^[5]。鉴于此,研发设计了一种用于防止预制桩间漏土的打入式土工织物筒袋技术,解决桩间防漏土等工程项目以及水体交互不畅等问题,并成功应用于云龙湖景区八一大沟南岸河坡塌坡治理工程。

1 工程概况

八一大沟塌坡治理工程位于5A级云龙湖风景区内,八一大沟属于云龙湖水库大坝截渗沟,南侧依次为:交通道路如意路、云龙湖大坝及云龙湖,其中道路宽约4 m,大坝宽约110 m,地势呈西南高东北低。现状河坡高陡,最大坡高6.9 m,坡比为1:1.5~1:2.0,云龙湖常水位为32.8 m,八一大沟常水位30.5 m,水头差为2.3 m,河道排水通过奎河上黄茅岗泵站和袁桥泵站抽排,最低抽排水位30.00 m^[6-7]。自7月入汛以来,区域连续强降雨,导致八一大沟二环西路东侧桩号K0+000~K0+180段右岸边坡出现

裂缝产生滑塌。通过现场地质调绘确定滑动方向及规律,利用钻探外业揭露查明滑动方向为北偏东10°,属于土层圆弧滑动。由于该段河道出口奎河段正在干河施工,该段河道不能排水且水位不能下降太低,坡高陡且坡顶有交通道路,不能中断交通时间太长等诸多因素,给岸坡治理带来了很大的困难。

2 塌坡成因分析

2.1 地形原因

本工程南岸为中型水库云龙湖大坝,大坝高程约37.50 m,坝后交通道路顶高程约36.3~35.9 m,地表高程自南向北、自西向东逐渐降低,本工程附近基本全部铺装硬化,且在出口消防通道处最低,直对本次河坡塌坡段。现状河坡坡顶缺少截水沟,直接导致上游来水冲刷河坡且现状河坡较陡,坡脚处采用短木桩护岸,桩底高程在滑动面以上,不能形成稳定的支撑体。

2.2 地质原因

据调查,该段河道河坡于2015年7月及2018年8月多次发生塌坡现象,分别为坡脚挡墙坍塌及坡面坍塌,治理方式均采用4 m木桩支护,边坡土体压实回填,桩顶2 m范围内全部为现浇混凝土护坡。该边坡上覆土层为人工堆填土,覆盖层厚1.7~3.7 m,下伏可塑壤土,层厚3.0~5.7 m,该两层土抗剪强度低,工程性质较差;前两次塌坡治理时在水位变化区采用混凝土护坡,护坡缺少排水孔,从而导致本次坝后出逸点抬高,岸坡失稳。

2.3 诱发因素

场区雨量充沛,自2022年7月入主汛期以来,全市范围内持续强降雨,雨量大且持续时间长。坡面人工回填积土层及下部壤土层等受到持续强降雨浸侵、冲刷,处于高含水量状态,进而增加坡体自重,土体物理力学参数降低,导致坡体出现裂缝,且该段场地汇水沿坡顶路缘石侧面下渗,潜蚀土体,导致滑动面强度降低,边坡达到临界状态发生蠕动滑移。

3 方案设计

3.1 方案选择

根据八一大沟不能断流施工且常水位高、坡顶如意路不能中断交通且需尽快恢复交通、岸坡土质不均匀且为扰动土等多方面原因,本次治理方案经过多方案比选,在严重塌坡段最终选定坡顶灌注桩+坡脚管桩联合支护方案。

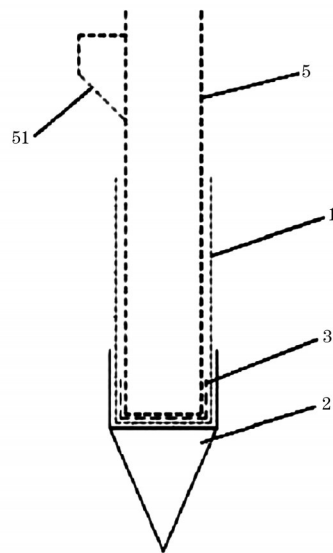
本工程河道坡脚处于水位变化区,采用管桩施工时,鉴于平面位置偏差以及桩体垂直度偏差再加上土层不均匀及施工设备原因,造成管桩之间存在不同程度的缝隙,缝隙大小一般为2.5~8 cm,由于桩后挡土,需要对该处缝隙进行处理。目前预制桩施工技术主要分为两类,一是采用沉桩定位技术,此类技术主要是在桩侧端部设置樁槽,并设计沉桩定位导向架、限位装置,以此来控制沉桩偏差,同时在凹槽内进行灌浆或填充反滤材料处理;二是采用新材料或组合材料方式:在预制桩结构中预埋型钢、止水袋以及桩间插入透水混凝土板材等反滤材料。但上述措施仍存在以下问题:

(1)采用堵的措施时,预制混凝土桩侧壁设置了樁槽,顶部埋置遇水膨胀橡胶条或灌浆,但由于受地质情况、施工等因素影响,导致桩体垂直度偏差,不能有效挡土。同时,堵的措施需要另外设置排水孔,且不方便设置反滤体,从而使穿墙排水孔易于堵塞,排水效果差,导致墙后水位抬高,影响边坡安全,也隔断了内外水系,降低了预制混凝土桩结构的生态性。

(2)采用滤的措施时,是在预制混凝土桩施工完成后,桩墙后挖土,垂直铺设土工布在桩后,再回填土压实整平,但该施工方法存在如下风险:①桩后开挖受空间限制,边坡一般较陡,导致边坡可能存在失稳风险;②桩后土方开挖回填,边坡不是原状土,边坡土虽经压实,仍存在孔隙,岸坡存在下沉可能,影响边坡整体安全;③河道不能降排水,导致水位高,难以实施铺设土工布;④河道边坡地质条件相对较复杂,有地下水且地质为粉砂、粉土等土层,不易实施。

鉴于以上情况,同时进一步简化施工,凸显预制桩在无防渗要求水利护岸工程中的生态性和环保性,本次采用一种用于防止预制桩间漏土的打入式土工织物筒袋技术,解决桩间防漏土措施不便实施以及水体交互不畅等问题,并形成“一种防止挤土桩桩间漏土的土工织物筒袋”实用新型专利。该打入型反滤体技术通过在预制桩后设置土工织物筒袋,基于预制桩为挤土桩,桩体施工时,桩间会存在不同程度的缝隙,导致土体颗粒从缝隙间流走,引起河道塌坡。通过设计在预制管桩临土侧桩间部分采用土工织物筒袋(图1),筒袋底高程低于河底不小于50 cm。设计采用的土工织物筒袋通过在袋内部填充砂粒,由于其柔性,能有效与预制桩体紧密连接,适应桩、土体变位;土工织物筒袋袋体具

有一定的抗拉强度,在桩与桩之间存在细小缝隙时,袋装砂能与相邻预制桩一起形成自稳体系,起挡土作用,且土工织物筒袋能起排水反滤作用,减少墙前后水头差;预制桩为挤土沉桩,在施工过程中会使桩周部分土体扰动,而打入型土工织物筒袋正好可以利用其自身材料具有一定的伸长率以及砂粒料密实作用,使桩墙后部分扰动土体挤密实。施工时采取筒袋牵引头,通过中空钢管给上压板传力给锥尖体可以带着土工织物筒袋轻松进入土体到设计高程并进行挤土,实施阻力相对较小;锥尖体的导向套筒能保护土工织物筒袋的底部端头,并能沿着相连桩体外壁顺着向下挤土,起到导向作用。通过在土工织物筒袋袋体内设置一个中空钢管,既可以用其对锥尖体施加压力送至土工织物筒袋,又可以通过灌砂口向钢管内部注入砂粒,振动中空钢管使砂粒密实,并缓慢提升钢管,最终形成结构体。打入型土工筒袋设计如图1所示,土工筒袋及施工见图2。



1-土工筒袋; 2-筒袋牵引头; 3-上压板;
5-中空钢管; 51-灌砂口

图1 打入型土工筒袋

由于八一大沟为云龙水库坝后截渗沟,要保证坝后渗水能从管桩缝隙中顺利排出,防止大坝出逸点抬高,需在桩后设置反滤体防止土颗粒从缝隙中流走造成河坡坍塌。结合河道生态景观等,经多方案比较,本工程选用管桩桩后打入灌砂土工筒袋方案,该方案具有透水功能,能够减少桩后水土压力,减少工程投资,同时也加强桩前后水体互通,具有生态性。

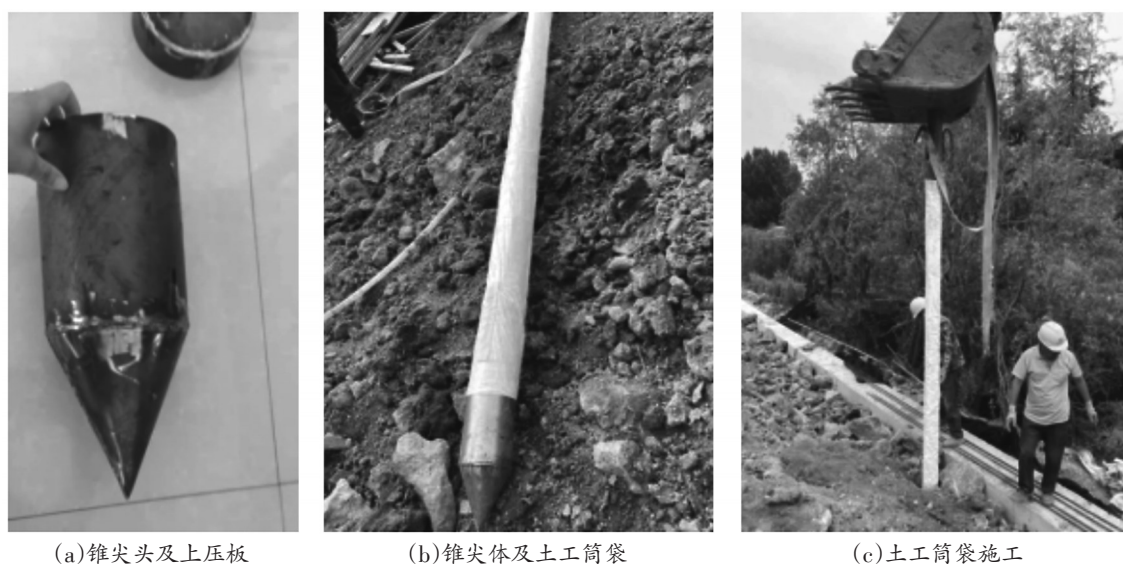


图2 土工筒袋及施工

3.2 稳定性计算

根据工程地质调绘、结合工程类比及《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)及《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)中圆弧形滑面的边坡稳定性进行计算,采用岩土物理力学指标见表1。

表1 岩土物理力学指标

土层	$[f_a]/\text{kPa}$	$\gamma/(\text{kN/m}^3)$	c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$
A素填土	90	18	20	9
1层壤土	110	19	22	10
2素黏土	200	20	47	15
3层含砂姜黏土	250	20	53	17

根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)及《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)结合场地情况确定边坡安全等级为二级,边坡稳定抗滑稳定系数为1.30,抗倾覆稳定系数为1.2。根据规范对边坡治理后的稳定性进行分段计算,本次以严重塌坡A段为例,针对灌注桩及管桩分别进行计算和整体稳定计算,并选择安全系数值中的小值作为该断面的稳定值,治理后各断面安全系数见表2。对于塌坡倾向B段和岸坡整治C段本次不

进行阐述。

3.3 方案设计

本次采用坡顶灌注桩+坡脚管桩护岸,即在坡顶支护采用 $\Phi 80\text{ cm}$ 灌注桩,桩间距110 cm,桩外露面采用10 cm厚混凝土挂网浇筑,并间隔330 cm设置 $\Phi 10\text{ cm}$ 穿墙排水管,保证桩后水体顺利排出;在坡脚水位变化区支护采用 $\Phi 30\text{ cm}$ 管桩,桩间距35 cm,桩后采用打入型土工筒袋,筒袋 $\Phi 15\text{ cm}$,其内灌入砂粒料。根据八一大沟南侧汇水面积及暴雨强度进行流量计算,确定在坡顶桩后设置截水沟拦截地表水,并间隔25 m于桩间设置泄水管将截水沟水排至河坡跌水进行有组织排水。同时为降低管桩后土压力,对河坡进行削坡处理,降低坡顶高度1.5~3.0 m并在坡顶设置平台,斜坡段采用连锁式生态砖防护,斜坡段和水平段采取绿化水土保持措施。通过采用桩间间隙5 cm,桩后采用 $\Phi 15\text{ cm}$ 土工筒袋方案,不仅方便实施,提高打桩效率,且工程造价较密排桩方案(桩间无间隙)节省8%左右。

4 结 论

桩式墙支护结合打入型土工筒袋方案首次在河道生态治理中进行应用,并取得良好效果,其最

表2 河坡稳定计算成果

计算断面	水位/m		抗滑		抗倾覆	
	桩前	桩后	K_c	$[K_c]$	K_o	$[K_o]$
K0+100	30.50	30.80	1.35	1.3	1.29	1.2
K0+200	30.50	30.80	1.32	1.3	1.26	1.2
K0+300	30.50	32.80	1.36	1.3	1.31	1.2

主要的原因在于桩式护岸不需要打筑围堰截流、开挖回填量少、减少占地、不需要降水并可在有水条件下进行施工,且生态性好、工程造价省等优点,具有较好的推广价值。八一大沟治理工程结合在水位变化区采用管桩支护+桩间挡土采用土工筒袋措施,能有效解决预制桩等直立式挡墙护岸结构在不能大开挖的情况下挡土和滤水等方面存在的瓶颈问题,为预制桩生态护岸可靠、稳定、生态运行奠定坚实的基础,同时方便施工,打桩效率高,节省工程投资,有利于预制桩生态护岸的进一步推广应用,也是对国家“碳中和”“碳达峰”战略目标的响应。八一大沟塌坡段护岸已投入使用多年,河道岸坡完好,水位变化区生长了不少水生植物,生态景观好,取得了良好的经济效益、社会效益和生态效益,达到了既定的目标。

江苏省河湖众多、水系发达,水面积占整个地域面积的16%以上,河道生态要求高,再加上受投资、环保等因素制约,不少河道不宜采取打筑施工围堰大开挖施工措施,因此该项非开挖生态护岸治理新措施研究成熟后,有望能在江苏境内水利工程等项目中得到大范围的推广应用,具有广阔的前景。目前以该项技术为基础的江苏省水利科技课题,正在对土工织物筒袋袋体、袋装填充料、桩间合理间隙

及构造优化或者可回收再利用等方面做更加深入的研究,寻求更加可靠、经济、安全的生态治理措施。

参考文献:

- [1] 关春曼,张桂荣,程大鹏,等. 中小河流生态护岸技术发展趋势与热点问题[J]. 水利水运工程学报, 2014(4): 75-81.
- [2] 陈丙法,黄蔚,陈开宁,等. 河道生态护岸的研究进展[J]. 环境工程, 2018(3): 74-77.
- [3] 王一航,张金凤,张娜,等. 生态护岸在水利工程中的研究及应用进展[J]. 水道港口, 2020(2): 210-216.
- [4] 孙磊,刘雅雅. 装配式建筑预制混凝土构件生产成本控制的研究[J]. 北方建筑, 2019, 4(2): 79-81.
- [5] 陈红波,王强,吴芳. 预制桩板组合护岸在新沟河延伸拓浚工程中的应用[J]. 江苏水利, 2020(增刊2): 69-71, 75.
- [6] 满建舫,陈亚军,孙丹丹,等. 徐州市市区排涝泵站改造工程初步设计报告[R]. 徐州:徐州市水利建筑设计研究院有限公司, 2022.
- [7] 杨勇,储白露,董修新,等. 徐州市近期防洪排涝工程初步设计综合说明[R]. 徐州:徐州市水利建筑设计研究院, 2001.
- [8] 陈亚军,纪伟,袁承斌,等. 浅谈打入型反滤体在预制桩生态护岸工程上的研究[J]. 治淮, 2023(1): 23-29.
- [6] 谢文鸿. 基于机器学习的风暴潮智能预报[D]. 南京:南京信息工程大学, 2024.
- [7] 刘倩. 基于调和分析与神经网络的潮汐分析和预报[D]. 青岛:青岛大学, 2023.
- [8] 徐晓武,陈永平,甘敏,等. 基于非稳态调和分析和长短时记忆神经网络的河口潮位短期预报混合模型[J]. 海洋通报, 2022, 41(4): 401-410.
- [9] 汪昊燃,王容,黄鹏年,等. 水文水力学结合的秦淮河流域洪水模拟与实时校正[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2023, 51(3): 25-30.
- [10] 白立影,戴凤君,谭亚,等. 镇江站天文潮预报模型研究[J]. 江苏水利, 2017(10): 40-43.
- [11] 周莉,严锋,何健,等. 基于多元逐步回归及实时修正的长江南京站高潮位预报[J]. 水利水电快报, 2023, 44(3): 22-25.
- [12] 史凯丰. 丹东潮水位站高低潮位预报的修正与应用[J]. 东北水利水电, 2023, 41(8): 25-26.
- [13] 陈志高,吴子豪,班亚,等. 基于调和分析及VMD-BP神经网络的感潮河段流量预报[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2023, 48(8): 1389-1397.
- [14] 陈柯兵,邓良爱,李瀛,等. 基于AutoML的长江下游周句尺度枯水位及潮位预报[J]. 水运工程, 2023(11): 120-125.
- [15] 衣学军,汤岭,李致家,等. 基于机器学习的洪水预报实时校正[J]. 水电能源科学, 2023, 41(12): 78-81.
- [16] 葛路,张善亮,许月萍,等. 耦合BP神经网络的MIKE11模型预报无资料断面水位[J]. 水利水运工程学报, 2023(3): 57-67.
- [17] 李鑫,刘艳丽,朱士江,等. 基于新安江模型和BP神经网络的中小河流洪水模拟研究[J]. 中国农村水利水电, 2022(1): 93-97.
- [18] 傅太生,姚允龙,陆益. 长江下游镇江站高潮位预报分析[J]. 江苏水利, 2006(8): 28-32.
- [19] 姚思源,李国芳,钱睿智,等. 南水北调东线工程源头长江潮位预报[J]. 南水北调与水利科技, 2021, 19(6): 1136-1146.
- [20] 王如云,李丹,周钧,等. 感潮河段单站等时距水位非线性优化预报模型[J]. 水道港口, 2017, 38(2): 132-136.

(上接第37页)