斜坡-直立混合式护岸结构形式在长江航道整治工程中的应用

耿嘉良[1]，冷乐飞[2]，岳志远[1]，刘奇峰[1]
（1. 长江航道规划设计研究院，湖北 武汉 430011；2. 长江航道局，湖北 武汉 430010）

摘要：根据长江中游藕池口水道航道整治工程的建设条件和河段特点，首次提出了混合型护岸结构，并对其稳定性进行了简要分析。该结构在长江中游藕池口水道航道整治一期工程中得以成功应用，为类似工程提供一定的参考。

关键词：航道整治；混合式护岸结构；藕池口水道
中图分类号：U 617　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1002-4972(2014)11-0101-04

Application of mixed revetment structure (sloping-vertical) in Yangtze River waterway regulation engineering

GENG Jia-liang[1], LENG Le-fei[2], YUE Zhi-yuan[1], LIU Qi-feng[1]
(1. Changjiang Waterway Planning, Design and Research Institute, Wuhan 430011, China;
2. Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430010, China)

Abstract: This paper proposes a mixed type revetment structure based on the project construction conditions and channel characteristics of Ouchikou waterway on the middle reach of the Yangtze River and analyzes the stability of the revetment structure. The successful application of the revetment structure in the first phase Ouchikou waterway regulation engineering provides a reference for similar projects.

Keywords: waterway regulation; mixed type revetment structure; Ouchikou waterway

长江干线航道上起云南水富港，下至长江入海口，全长 2 838 km，是连接中国东中西部的运输大动脉。随着长江下游深水航道建设和三峡水库建成改善了上游航道条件，长江中游逐步成为整个长江航运体系中的“肠梗阻”地带。特别是荆江河段，九曲回肠，滩多水浅，变迁频繁，河道“三十年河东，三十年河西”，航道“一弯变，弯弯变”，历来是长江航道治理的重点和难点[1]。

由于中游两岸岸坡地质主要是粉质黏土和粉细砂，具有易冲、易坍塌等特点，为了河势稳定和保障航道畅通，需要对不稳定的岸坡进行护岸。长江航道整治工程中的传统护岸结构形式主要是采用斜坡式护岸，该结构具有易施工、结构稳定、对地质适应能力强等优点，但在荆江河段藕池口水道航道整治工程中，由于岸坡后方有大量的树木和植被，若采用传统的斜坡式护岸，将会对自然环境造成破坏，同时距离大堤较近，岸坡大量开挖也不利于大堤稳定，因此需要采取新的结构形式。本文结合藕池口水道岸坡地质特点，选用混合式护岸结构形式，对其稳定性进行分析，为类似工程提供了借鉴作用。

1　工程概况

藕池口水道位于长江中游下荆江首端，地处

收稿日期：2014-09-09
作者简介：耿嘉良（1982—），男，工程师，从事航道工程设计、研究工作。

湖北省石首市境内，上起茅林口，下止北门口，全长 23 km，介于周天河段和碾子湾水道之间，是长江中游重点碍航水道之一[2]。

藕池口水道为一顺直放宽的喇叭型河道，由顺直过渡段和急弯段组成。水道自进口茅林口以下逐渐放宽，在其放宽段存在上下两个心滩，分别为较为低矮的倒口窑心滩，以及相对高大的藕池口心滩[3]。倒口窑心滩将左汊分为左槽和右槽，左槽宽深，位置较为稳定，右槽不稳定，摆动幅度较大。近几年来，主航道一直稳定在左槽，浅区位于左槽进口古长堤至沙埠矶之间。在一期工程实施前，水道进口天星洲左缘持续冲刷崩退，陀阳树边滩不断下移，倒口窑心滩滩头及左缘冲刷，致使进口段主流线摆动频繁，航道条件出现不利的变化趋势[4]。

为了实现长江干线航道总体规划纲要确定的整治目标，防止三峡水库蓄水运用后航道条件向不利方向发展，从根本上解决藕池口水道的碍航问题，确保长江中游航道整体畅通，在 2010 年对藕池口水道实施了航道整治工程，工程平面布置方案见图 1。

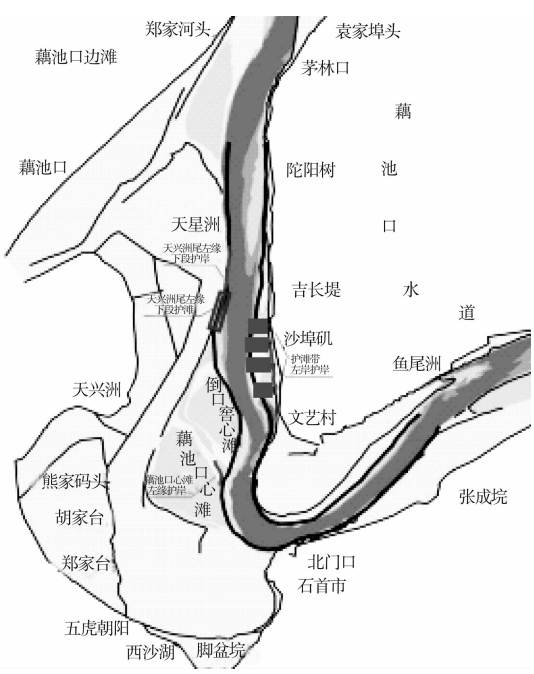

图 1　长江中游藕池口水道河势及平面布置

2　工程建设条件

1）设计水位。

设计水位为当地航行基准面零点，即 24.52 m（黄海高程）。工程区设计最高通航水位约为 37.30 m（黄海高程）。

2）流速。

枯水期平均流速 1.18 m/s，最大流速 1.89 m/s；洪水期（2008 年 8 月）最大流速 2.43 m/s。

3）地质地貌。

藕池口水道地质条件相对较为简单，受江水和地貌条件影响，上部为随长江水流冲刷或沉积而成的松散状态的中细砂层，属近期沉积而成，该土层分布不稳定，厚度也是随长江水流冲刷或沉积而变化，下部为稍密-中密状态的中细砂层。工程部位上部为陡坡，后方有大量树木等植被[5]。

3　设计原则

1）尽量少破坏现有岸坡以及后方植被；2）施工便利，维护方便，环境友好，对水流的干扰较小，且造价较低；3）顺应河岸形态，整体结构稳定可靠。

4　结构设计

4.1　结构形式选择

由于岸坡长期受到冲刷，同时地质条件相对较差，长江中游航道整治工程一般采用斜坡式护岸结构，缺点是若岸坡较陡需要削坡，对坡顶生态破坏较大。直立式护岸一般应用于岸坡较陡、水深较深、地基较好、岸线纵深较小和用地紧张的地段，多见于码头水域，可以减少岸坡纵向开挖，减少对坡顶生态的破坏，但由于其对地基要求比较高，一般很少采用。

结合本工程河床地形易冲刷、岸坡顶部坡陡、后方有大量植被等特点，采用下部斜坡式上部直立式的混合式结构。既可以抗冲刷，又可以避免大量破坏自然岸坡。

4.2　设计方案[2]

混合式护岸结构由枯水平台、斜坡式结构、直立式结构、水下护底等 4 个部分组成，见图 2。

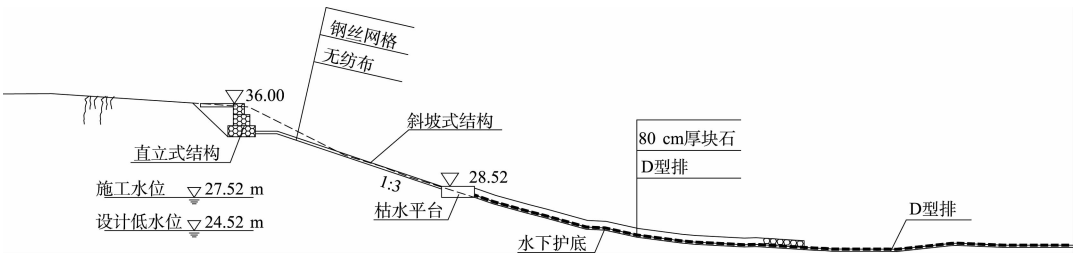

图 2　护岸工程典型结构

斜坡式结构对原有岸坡按 1:3 进行削坡，由下至上设置 400 g/m^{2}无纺布 1 层，其上铺砌 23 cm 厚的钢丝网格。

直立式结构位于斜坡式结构上部，岸坡陡坡部位采用阶梯式的钢丝网石笼挡土墙。挡土墙由 3 层高度均为 1 m 的钢丝网石笼竖向砌筑而成，岸侧垂直，江侧成阶梯式，由下而上钢丝网石笼层宽分别为 2.5、1.5、1 m，钢丝网石笼层需开挖后埋入砌筑，开挖后对挡土墙墙后采用卵石回填。钢丝网石笼内填充块石或卵石，系好盖面钢丝网并用钢丝相互铰接。在挡土墙墙后开挖边坡和最底层钢丝网石笼底部铺设一层碎石垫层，底层碎石厚 0.6 m，边坡碎石厚 0.3 m，然后铺设 1 层 400 g/m^{2}无纺布。见图 3。

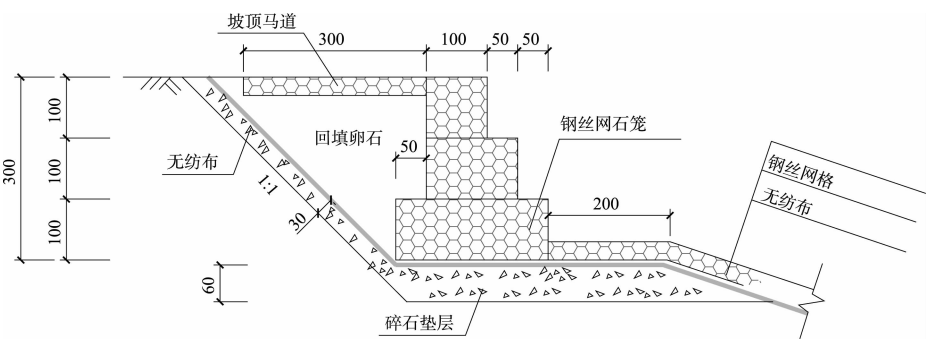

图 3　直立式结构

4.3　稳定性分析

为了验证其稳定性，对混合式护岸进行稳定性验证。主要验证混合式护岸的整体稳定性、直立式结构的抗倾稳定、抗滑稳定、承载力。

1）验算公式。

①整体稳定性。

岸坡整体稳定性计算方法采用 JTJ 300—2000《港口及航道护岸工程设计与施工规范》[6] 规定的圆弧滑动法。

$$k = \frac{\sum c_i l_i + \sum \rho_i g b_i h_i \cos\alpha_i \tan\psi_i}{\sum \rho_i g b_i h_i \sin\alpha_i} \qquad (1)$$

式中：l_i 为土条底部斜面长（m）；h_i 为土条高（m）；b_i 为土条宽（m）；ρ_i 为土条的饱和密度（t/m^3）；α_i 为土条与滑动面夹角（°）；ψ_i 为土条内摩擦角（°）；c_i 为凝聚力（kPa）。

②抗滑稳定性。

采用《港口及航道护岸工程设计与施工规范》[6] 中直立式护岸结构抗滑稳定性验算公式：

$$\gamma_0(\gamma_E E_H + \gamma_{pw} P_w + \gamma_p P_B) \leqslant (\gamma_G G + \gamma_E E_V + \gamma_u P_{Bu}) f / \gamma_d \qquad (2)$$

式中：γ_{pw} 为剩余水压力分项系数，取 1.05；P_w 为作用在计算面以上的剩余水压力的标准值（kN）；γ_u 为波浪浮托力分项系数，持久组合取 1.30，短暂组合取 1.20；γ_d 为结构系数，无波浪作用取 1.0，有波浪作用取 1.1。

③抗倾稳定性。

采用《港口及航道护岸工程设计与施工规范》[6] 中直立式护岸结构抗滑稳定性验算公式：

$$\gamma_0(\gamma_E M_{EH} + \gamma_{pw} M_{pw} + \gamma_p P_{pB}) \leqslant (\gamma_G M_G + \gamma_E M_{EV} + \gamma_u M_{pB_u})/\gamma_d \quad (3)$$

式中：M_{pw} 为剩余水压力标准值对计算面前趾的倾覆力矩（kN·m）；M_G 为结构自重力标准值对计算面前趾的稳定力矩（kN·m）；γ_d 为结构系数，无波浪作用取 1.25，有波浪作用取 1.35。

④承载力验算。

采用《港口及航道护岸工程设计与施工规范》[6] 中直立式护岸结构基床承载力验算公式：

$$\gamma_0 \gamma_\sigma \sigma_{max} \leqslant \sigma_\gamma \quad (4)$$

式中：γ_σ 为基床顶面最大压应力分项系数，取 1.0；σ_{max} 为基床顶面最大压应力标准值（kPa）；σ_γ 为基床抗力设计值。

2）计算结果。

分别验证工程在低水位、高水位和地震等 3 种工况下的稳定性（表 1）。

表 1　3 种工况下的稳定性

工况	整体稳定性安全系数	抗倾稳定安全系数	抗滑稳定安全系数	压应力/kPa	验证系数		承载力/kPa	说明
					抗倾	抗滑		
低水位	1.98	4.892	1.437	27.691	1.6	1.25	100	满足要求
高水位	2.14	4.706	1.407	39.375	1.6	1.25	100	满足要求
地震	2.30	4.361	1.299	41.095	1.2	1.10	100	满足要求

5　结语

对于具有河床易冲刷、岸坡顶部较陡、后方有大量植被等特点的河岸，若采用传统斜坡式护岸，会造成坡顶生态的破坏，若采用直立式护岸，由于地基承载力不足，河床易冲刷，稳定性难以保证。

采用斜坡－直立混合式护岸结构形式，可发挥斜坡式和直立式两者的各自优点，既保证了岸坡在受冲刷状态下结构的稳定性，又可避免对岸坡的大量开挖、破坏原有植被。该结构形式在长江中游藕池口水道航道整治一期工程中已得到成功应用，并经过了数次洪水考验，结构仍保持稳定。该结构可为与藕池口水道有相似特点的工程提供借鉴作用。

参考文献：

[1] 王取发，陈宇，徐金波. 长江中游荆江航道展开史上最大规模整治[N/OL]. (2014-03-12) [2014-08-12] http://www.chinanews.com/sh/2014/03-12/5943568.shtml.

[2] 付中敏，闫军. 长江中游藕池口水道航道整治一期工程施工图设计[R]. 武汉：长江航道规划设计研究院，2010.

[3] 耿嘉良，陈婧. 长江中游藕池口水道航道整治一期工程效果分析[R]. 武汉：长江航道规划设计研究院，2013.

[4] 闫军，付中敏，陈靖，等. 长江中游藕池口水道河道演变及航道条件分析 [J]. 水运工程，2012(1)：99-104.

[5] 孙连和，刘星. 长江中游藕池口水道工程地质勘察报告[R]. 武汉：中交第二航务工程勘察设计院有限公司，2009.

[6] JTJ 300—2000 港口及航道护岸工程设计与施工规范[S].

（本文编辑　武亚庆）

欢迎投稿　欢迎订阅