



# 长江中游燕子窝水道航道整治工程设计

周成成<sup>1</sup>, 熊小元<sup>2</sup>, 童凡<sup>1</sup>, 李明<sup>1</sup>

(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:** 燕子窝水道是长江中游航道重点碍航浅滩段之一, 具备顺直分汊的平面特征, 分汊口门易形成碍航浅滩, 出现散乱型浅滩时碍航程度最为严重。三峡工程实施后, 水道出现了不利调整。已建整治工程实施后, 关键部位得到守护, 但随着三峡工程的影响程度逐渐加深, 燕子窝水道仍出现了不利的调整变化, 航道条件仍不稳定。通过对已建工程实施前后燕子窝水道河床演变及碍航特性的分析, 提出治理思路及方案, 并进行结构设计, 重点对新老工程衔接进行细化和优化处理, 可为长江航道类似整治工程设计提供经验。

**关键词:** 燕子窝水道; 航道整治; 工程设计

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)05-0082-06

## Yanziwo waterway improvement engineering design in the middle reach of the Yangtze River

ZHOU Cheng-cheng<sup>1</sup>, XIONG Xiao-yuan<sup>2</sup>, TONG Fan<sup>1</sup>, LI Ming<sup>1</sup>

(1. Changjiang Waterway Planning, Design and Research Institute, Wuhan 430011, China;

2. Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430010, China)

**Abstract:** Yanziwo waterway is one of the key navigation-obstructing shoals in the middle reach of the Yangtze River waterway, which has the plane characteristics of straight braided channel, and navigation-obstructing shoals are easily formed at the branched estuary. When the scattered shoal emerges, the navigation-obstructing problem is the most serious. After the implementation of the Three Gorges project, some adverse adjustments appeared. Already running project had guarded the key section. However, with the increasingly impact of the Three Gorges project, the channel condition of Yanziwo waterway is still instable. This paper analyzes the evolution of the river bed and characteristics of the navigation obstruction before and after the construction of the old project and proposes the regulation ideas and solutions. It also puts forward the engineering structure design, focusing on the refinement and optimization processing of the new and old engineering convergence. The research result may provide experience for similar regulation engineering design of the Yangtze River waterway.

**Keywords:** Yanziwo waterway; channel regulation; engineering design

### 1 河道概况

燕子窝水道位于长江中游赤壁至潘家湾河段内, 上起天门堤, 下至潘家湾, 全长 12 km。平面呈弯曲收缩状, 出口有殷家角节点控制, 右侧有归粮洲、老新洲等。江中常年有心滩存在, 将水道分为左右两槽。当主流线从左岸上

深槽经心滩头向右槽过渡时, 过渡段习称上跨河槽; 当主流线从左槽经心滩尾向出口下深槽过渡时, 过渡段习称下跨河槽。燕子窝河段支汊周期性在左右汊摆动, 使得河段航槽不稳定, 尤其是在过渡期, 航槽过渡段易于出浅碍航。河势见图 1。

收稿日期: 2015-11-26

作者简介: 周成成 (1985—), 女, 硕士, 工程师, 从事航道整治科研及设计工作。

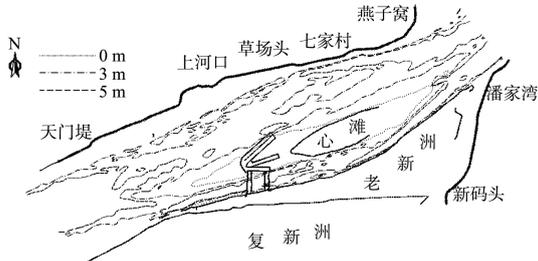


图1 2015年2月燕子窝水道河势

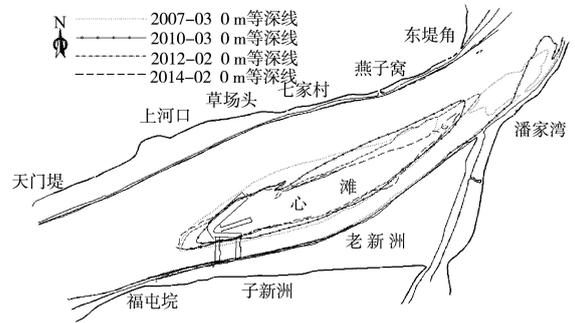


图2 近期燕子窝水道0m滩型线变化

自2013年3月1日起,燕子窝水道所在的城陵矶至武汉航段枯水期最小航道维护尺度试运行 $3.7\text{ m}\times 80\text{ m}\times 750\text{ m}$ ,保证率为98%。按《长江干线航道总体规划纲要》<sup>[1]</sup>要求,到2020年,城陵矶至武汉航段的建设标准为 $3.7\text{ m}\times 150\text{ m}\times 1\,000\text{ m}$ 。为加快黄金水道的建设,长江干线航道主管部门拟于2015年提前实现总体纲要的规划目标。

## 2 河床演变及碍航特性

### 2.1 河床演变特点

已建工程实施前,燕子窝心滩的演变过程分为边滩切割期与心滩右移期两个阶段。边滩切割期由于大水取直走左槽,心滩脱离左岸;左槽继续冲刷发展,心滩左冲右淤,进入心滩右移时期。20世纪末的两场大水促成了燕子窝水道主汊从右槽到左槽的易位。进入21世纪以来,左槽分流比均保持80%以上。整治工程实施前,尽管燕子窝心滩头部冲刷后退,但右槽分流比未见显著增加,仅左槽有展宽淤积的趋势<sup>[2]</sup>。

已建工程实施后,不管是涨水期,还是退水期,滩体变形都以冲刷为主。从年际变化情况来看,工程实施后河段连续受中小水年的作用,燕子窝心滩滩头仍持续冲刷后退,防冲墙后护滩带范围内中滩也有所冲刷,滩尾淤积下延,滩体面积持续减小,整体下移。受连续中小水年作用,燕子窝心滩滩头年际间冲刷后退的趋势并没有改变,至2014年2月,心滩左缘0m线最大冲退幅度达到360m左右(图2)。

心滩年际变形也以中上段持续冲刷、尾部淤积为主,且左缘冲刷幅度较大,与2006年初相比,2011年初心滩左缘航基面以上5m等深线冲退约320m。燕子窝水道已建航道整治工程完工后,分汊段分流比也出现了趋势性调整的现象。工程前,燕子窝右槽中枯水期分流比不足19%,已有工程对该汊进口段实施了护底限制工程,但工程仍未能阻止右槽分流比的日渐增加,至2015年该汊枯水期分流比增至28.3%,接近2005年同期的2倍。与分流比调整相对应,左右槽的冲淤发展也有所变化,右槽3m等深线接近贯通,左槽进口放宽淤积,5m等深线有较大幅度的断开。从冲淤变化看,燕子窝河段河心右侧冲刷,左侧淤积。过渡段河槽淤积,幅度在1m以上。分汊段左槽左岸侧大幅度的淤积,贴靠燕子窝心滩头部的河槽大幅度冲刷,冲刷幅度在4m以上;与左槽相反的是,右槽沿程冲刷,尤其是进口潜坝工程区,冲刷强度在3m以上。

### 2.2 碍航特性

已建整治工程实施前后,燕子窝水道碍航特性没有发生根本变化,主要是由于关键滩体不稳定,放宽段主流深泓大幅摆动,一定水沙条件下,滩冲槽淤的累积效应会带来浅滩水深恶化。不同的是,在工程前,滩体的不稳定性更明显,深泓的摆幅更大,浅滩碍航更严重;而在工程后,关键滩体的变形受到一定程度的控制,深泓平面摆幅减小,浅滩未有明显碍航现象产生,但局部浅滩水深逐渐变差的情况仍然存在。主要是由于对关键部位的变形控制尚不完善,浅滩段因河槽展

宽而淤积的现象仍然存在。燕子窝水道已建的心滩守护工程实施后,心滩冲刷变形控制力度未能达到理想状态,心滩右槽迅速冲刷发展,中枯水期分流比与工程前相比,增加约10%,与此同时,左槽进口也逐渐展宽。受这些不利变化的共同影响,左槽水动力条件减弱,造成浅滩淤积,航行基准面以下5 m等深线由工程前的最小宽度239 m淤积到2015年5 m线断开,幅度超过2 800 m,浅滩正逐渐散乱宽浅化。

### 3 治理思路及工程方案

#### 3.1 治理思路

燕子窝水道心滩右槽已不具备作为长期稳定主通航汉道的条件,左槽近年来航道问题的根源在于对偏枯水流路的控制力度不够。中枯水条件下,主流位于河道偏右侧,正对心滩头部,随着已建工程前沿低滩的逐渐萎缩,分流区趋向宽浅化,以致于形成了大范围的浅区。虽然目前航道条件尚能满足规划目标尺度,但不利滩槽格局和右槽的进一步发展,都使得航槽极不稳定。因此,燕子窝水道应以已建工程为基础,及早完成对已建心滩守护工程前沿水下低滩的守护,并适当恢复该区域的滩面高程以上提分流点,同时限制右槽的发展,从而解决航道条件不稳定的问题。

#### 3.2 工程方案及效果

##### 3.2.1 方案布置

为巩固已实施工程整治效果、进一步稳定滩槽格局、防止航道条件继续向不利方向发展,拟实施长江中游赤壁至潘家湾河段燕子窝水道航道整治工程。

1) 航道等级: I级航道。

2) 航道尺度:  $3.7\text{ m} \times 150\text{ m} \times 1\ 000\text{ m}$  (水深 $\times$ 航宽 $\times$ 弯曲半径), 通航保证率为98%。

3) 通航代表船队: 通航由3 500吨级油驳组成的万吨级油运船队; 另外, 利用自然水深通航3 000吨级海船, 并延长通航期。

主要建设方案<sup>[3]</sup>如下: 1) 心滩头部护滩带工程。在心滩头部低滩布置一纵两横三道护滩带,

长度分别为1 727、471、347 m; 2) 右槽已建护底带修复加固工程。对右槽已建2道护底带进行修复加固, 长度分别为550 m及390 m; 3) 右岸护岸工程。对护底带根部1 027 m岸线进行守护; 4) 左岸护岸加固工程。对左岸上河口至七家村2 656 m长的已建护岸进行水下加固。工程布置见图3。

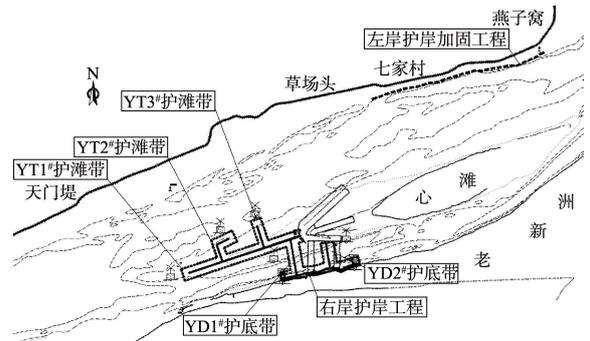


图3 燕子窝水道航道整治方案布置

##### 3.2.2 方案效果

模型对方案典型年、系列年效果均进行了论证。试验成果显示: 工程抑制了燕子窝心滩的冲刷后退, 洲滩头部低滩得到了守护, 发展的汉道得到了适当的限制, 分流格局基本稳定, 右槽进口冲刷减缓; 关键岸线得到了守护, 工程局部冲刷较小。从航道尺度变化来看, 与无工程相比, 航道条件有所改善, 航道尺度满足规划目标尺度。

### 4 结构设计

#### 4.1 已建工程结构

1) 心滩守护工程。

沿着心滩头部布置一道弧形 YR1 护滩带, 沿黄海高程 16 m 布置 65 m 宽、轴线长 1 510 m 的 X 型系混凝土块软体排, 在其靠水边一侧布置 80 m 宽 D 型系混凝土块软体排, 内侧布置 15 m 铰链排, 头部布置 300 m 长防冲墙, 前面布置宽 45~80 m 的 D 型排护底; 在心滩头部滩脊线上布置一道护滩带 YR2, 由长 734 m、宽 80 m 的 X 型排组成。

2) 燕子窝右槽守护工程。

燕子窝右槽进口布置两道平行的 YH3、YH4 护底带: YH3 护底带由 4 块宽 22 m、长 496 m 的

D 型排组成, 宽 79~91 m; 在施工水位与设计水位之间的范围排体上抛 30 cm 厚块石, 沿护底带中轴线方向高程低于 10.55 m 处进行抛枕压载, 枕上抛石; YH4 护底带由 4 块宽 22 m、长 408 m 的 D 型排组成, 宽 79~91 m; 其他同 YH3 护底带。

#### 4.2 护滩(底)带结构设计

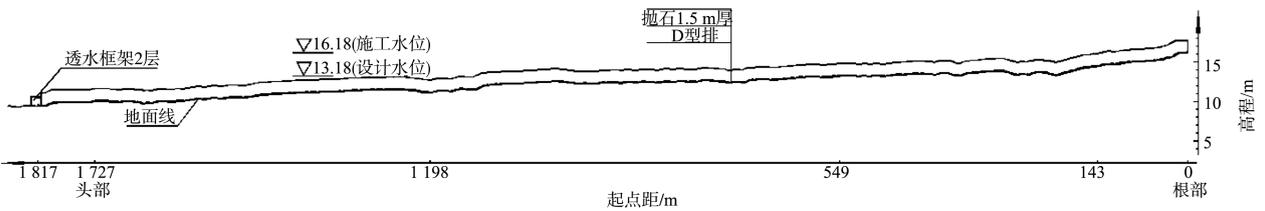
##### 1) 燕子窝心滩头部护滩带工程。

主要包括 YT1<sup>#</sup>、YT2<sup>#</sup>和 YT3<sup>#</sup> 3 道护滩带, 按照一纵两横布置在燕子窝心滩头部, 其中 YT2<sup>#</sup>护滩带含 200 m 长的勾头段。护滩带结构采用 D 型软体排护底, 排上抛石压载, 轴线区域抛石适当加厚, 排体边缘抛投透水框架或者抛石加厚进行

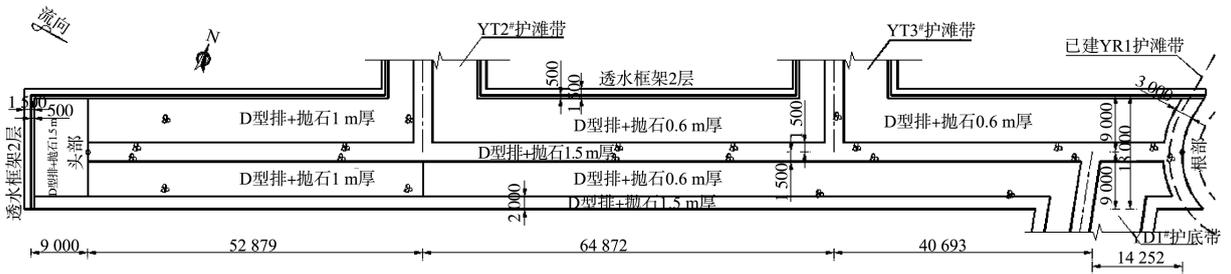
防冲促淤处理。设计时考虑的重点之一在于 YT1<sup>#</sup>护滩带的根部与已建 YR1 护滩带的衔接处理, 根据踏勘发现目前已建 YR1 护滩带的前沿排体局部有所垮塌下陷(图 4), 因此为确保衔接部位的稳定, 将护底排体与原有工程搭接 20 m, 同时在根部 30 m 范围内抛石加厚处理<sup>[4]</sup>(图 5)。



图 4 已建 YR1 护滩带前沿局部垮塌



a) 纵轴线剖面(垂直比例: 1:400; 水平比例: 1:5 000)



b) 平面结构(比例: 1:5 000)

图 5 YT1<sup>#</sup>护滩带结构(高程: m; 尺寸: mm)

##### 2) 右槽已建护底带修复加固工程。

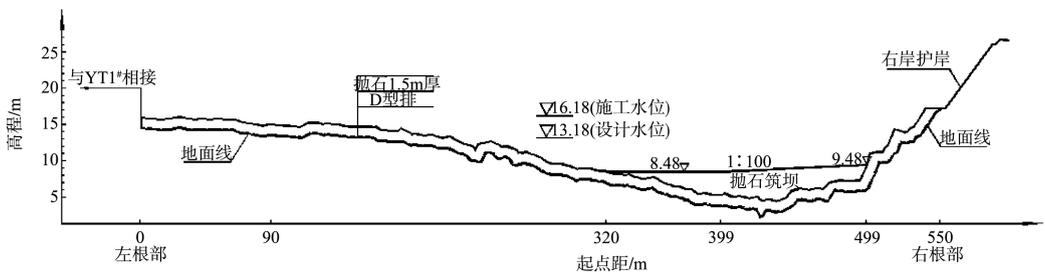
主要包括 YD1<sup>#</sup>和 YD2<sup>#</sup>两道护底带。对右槽进口水毁较严重的两道护底带进行修复加固, 恢复已建护底带的功能。护底带结构采用 D 型软体排护底, 排上抛石压载, 轴线深槽部位抛筑潜坝, 排体边缘抛石加厚进行防冲处理。设计时考虑的重点之一在于工程与原已建 YH3 和 YH4 护底带的衔接处理: 首先, 对原护底带的局部工程区域进

行了水下整平处理, 并对残留的乱石堆进行适当挖除, 以平顺地形及调整水流流态, 同时可提高排体的护底质量; 由于原 YH3 护底带下游存在较大的冲刷坑, 故对冲刷坑进行了适当的回填处理, 以平顺水流流态, 主要采用抛枕回填, 再抛石覆盖的结构; 另外, YD2<sup>#</sup>护底带左根部与已建 YR1 护滩带右缘衔接, 因该处局部垮塌已经过修复加固, 目前堆积大量块石及透水框架(图 6), 故排

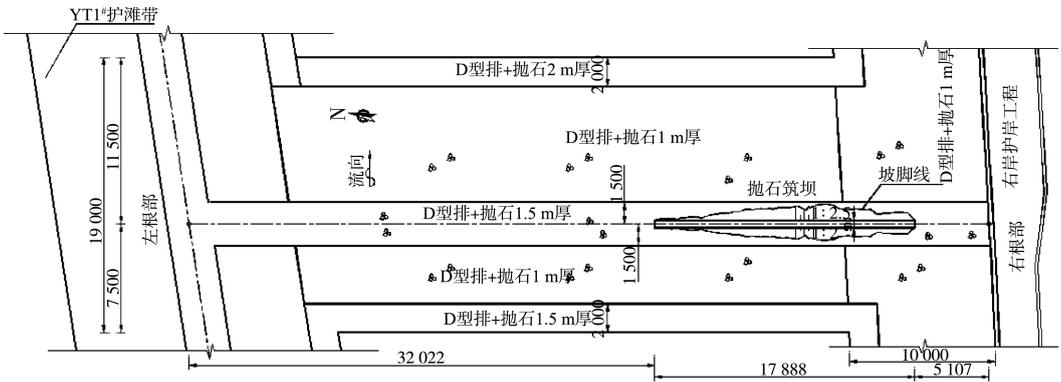
体无法沉放上滩，设计中采用了抛石结构与之相衔接（图7）。



图6 已建 YR1 护滩带右缘



a) 纵轴线剖面(垂直比例: 1:400; 水平比例: 1:2000)



b) 平面结构(比例: 1:2000)

图7 YD1#护底带结构 (高程: m; 尺寸: mm)

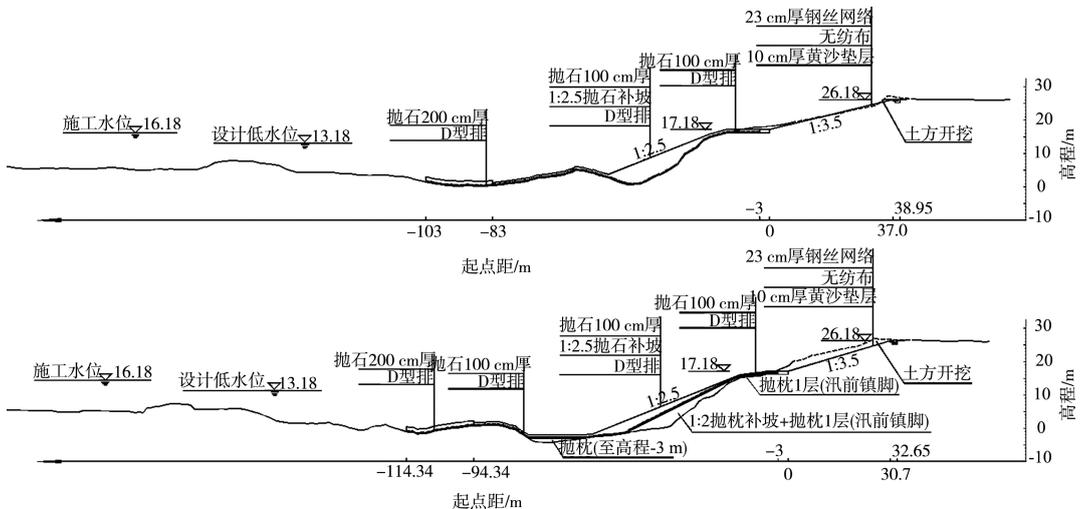


图8 右岸护岸工程典型断面结构

### 4.3 护岸结构设计

#### 1) 右岸护岸工程。

右岸护岸工程主要采用斜坡式平顺护岸形式，其优点是顺应河岸形态，整体结构稳定可靠，施工便利，维护方便，对水流的干扰较小，是长江中下游最常用的护岸结构形式。护岸结构主要包括枯水平台、陆上护坡、水下护底、和水下镇脚4个部分。与施工水位同一高程设有一枯水平台，枯水平台以上为陆上护坡，以下为水下护底和水下镇脚。典型断面结构见图8。

①陆上护坡: 主要包括岸坡开挖、岸坡回填、排水盲沟、陆上反滤层、护面、截流沟和排水沟等工序。

岸坡开挖: 对陡于 1:3 的岸坡按 1:3 削坡, 对于缓于 1:3 的坡岸可按自然坡比削坡。并对原护滩带根部岸坡的老护坡进行挖除。

岸坡回填: 护坡局部回填时要求对回填土层夯实, 达到原状土的密度。

排水盲沟: 在坡面每隔 10 m 设置由坡顶至脚槽的倒 Y 型排水盲沟。盲沟为矩形, 下铺无纺布, 然后充填碎石。

陆上反滤层: 坡顶至脚槽前缘间由下至上设置黄沙和无纺布。

护面: 护面采用厚 23 cm 钢丝网格, 并对施工水位上 3 m 的钢丝网格护面进行绿化。

截流沟: 在护坡顶部设有 1.95 m 宽的截流沟。

排水沟: 从护岸头部开始, 每隔 100 m 在坡面上布置一条排水沟, 底宽为 140 cm, 高 90 cm, 三面均为厚 45 cm 的浆砌块石, 沟深为 45 cm。排水沟顶端与截流沟连通, 底端与枯水平台齐平。设计流量为 0.2 m<sup>3</sup>/s, 设计纵坡与坡面纵坡一致。

②枯水平台: 枯水平台宽 3 m, 厚 1 m。由下至上设置无纺布 1 层、D 型排、铺石结构、碎石找平及枯水平台护面砖。无纺布和护底排在枯水

平台底重叠。

③水下软体排护底和镇脚

从脚槽开始向河心沉放 D 型排, 排体横向搭接宽度为 6 m。D 型排上抛石 1 m 厚, 当水下坡脚陡于 1:2.5 时需进行抛石补坡。排边缘 20 m 范围内的抛石厚度增加至 2.0 m。

护岸工程设计时考虑的重点在于工程与原已建 YH3 和 YH4 护底带根部护岸的衔接处理。根据现场踏勘, 原护底带根部护岸的下游侧水下均出现较深的冲刷坑<sup>[4]</sup>, 同时岸线垮塌凹进, 使得局部岸线形成突出矶头, 对此, 针对原护底带下游的 2 个冲刷坑进行抛枕回填处理, 针对陆上突出岸线需进行适当挖除清理, 以调整水流、平顺流态, 同时, 考虑到护岸工程安排于汛后施工, 在汛前对局部崩塌段进行抛枕镇脚处理, 以稳定岸线, 为汛后顺利实施护岸工程奠定基础。

2) 左岸护岸加固工程。

左岸护岸加固工程对左岸上河口至七家村一带已建护岸进行水下抛石加固, 主要采取抛石措施, 当水下岸坡陡于 1:2 时需先按照 1:2 的坡比进行抛石补坡。对护岸加固工程两端的岸坡, 陆上进行削坡, 并采用铺石结构进行护坡。典型断面结构见图 9。

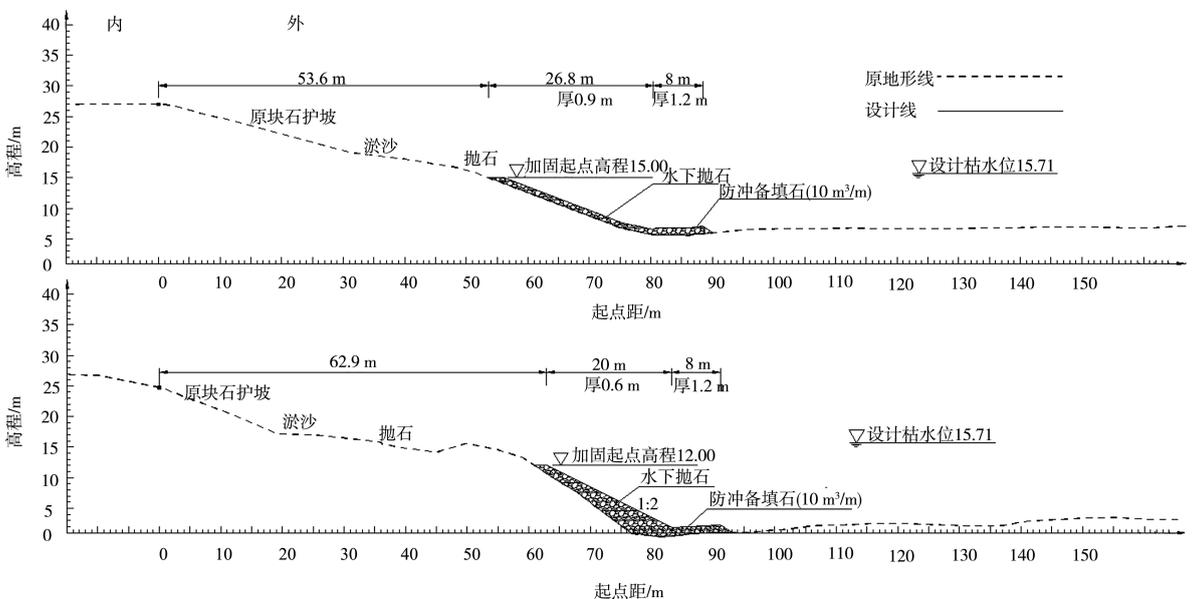


图 9 左岸护岸加固工程典型断面结构