



# 艳洲枢纽工程一期纵向围堰方案研究<sup>\*</sup>

熊英建, 李贵阳

(中交第二航务工程局有限公司, 湖北 武汉 430040)

**摘要:** 针对混凝土围堰水上与水下两部分结构设计与施工工艺, 以艳洲枢纽工程一期纵向混凝土围堰为例, 通过对多种围堰水上部分结构设计及水下部分施工工艺进行比选分析, 水上部分优选重力式设计方案, 水下部分优选预制套箱工艺。理论计算结果及现场实践表明: 重力式方案在可靠性、结构稳定性、施工难易程度等方面更具优势。与传统钢套箱工艺相比, 采用预制套箱工艺, 施工周期可缩短 22 d, 规避钢套箱周转环节, 施工总成本节约 183 万元。研究成果为同类型工程的围堰设计及施工提供参考。

**关键词:** 艳洲枢纽工程; 围堰; 方案研究; 施工

中图分类号: U65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)12-0178-05

## Longitudinal cofferdam scheme for Yanzhou hub project phase I

XIONG Yingjian, LI Guiyang

(CCCC Second Harbor Engineering Co., Ltd., Wuhan 430040, China)

**Abstract:** Regarding the design and construction of the above-water and under-water structures of the concrete cofferdam, taking the longitudinal concrete cofferdam of the Yanzhou project phase I as an example, through the comparison and analysis of the structure design of the above-water part and the construction technology of the underwater part of the cofferdam, the gravity design scheme of the above-water part and the prefabricated casing technology of the underwater part are optimized. The results of theoretical calculation and field practice show that the gravity scheme has more advantages in reliability, structural stability and ease of construction. Compared with the traditional steel box technology, the prefabricated box technology can shorten the construction period by 22 days, avoid the steel box turnover, and save 1.83 million yuan construction cost. The research results can be used for reference in the design and construction of cofferdams of the same type of hydraulic engineering.

**Keywords:** Yanzhou hub project; cofferdam; scheme research; construction

### 1 工程概况

澧水石门至澧县航道建设工程的艳洲枢纽工程主要建设内容包括艳洲枢纽船闸、电站及泄水闸工程、电站大桥改造工程(含拆除)、原艳洲电站与船闸以及艳洲小河桥拆除工程等。项目采用两期导流施工方案。一期围堰由上游土石填筑围堰、下游土石填筑围堰、下游横向开挖预留围堰、岸侧开挖预留围堰、河侧纵向混凝土围堰组成, 总长 1 137 m, 见图 1。左侧纵向围堰全断面浸入

澧水河中, 是一期围堰的重要组成部分。

为有效减小河床占压空间, 左侧纵向围堰采用混凝土结构, 分为水下混凝土与陆上混凝土两部分, 设计标准为 10 a 一遇洪水位, 对应流量为 1.42 万 m<sup>3</sup>/s, 水位为 43.81 m, 加上安全超高后, 顶高程取 44.0 m。围堰施工时间均处于枯水期, 根据现有水文资料, 水下混凝土的顶高程设计为 33.0 m, 宽度为 5.2 m, 高度平均 6 m, 采用 C20 混凝土浇筑。

收稿日期: 2023-03-16

\*基金项目: 湖南省交通运输厅科技进步与创新计划项目 (202224)

作者简介: 熊英建 (1987—), 男, 高级工程师, 从事水运工程施工技术管理工作。

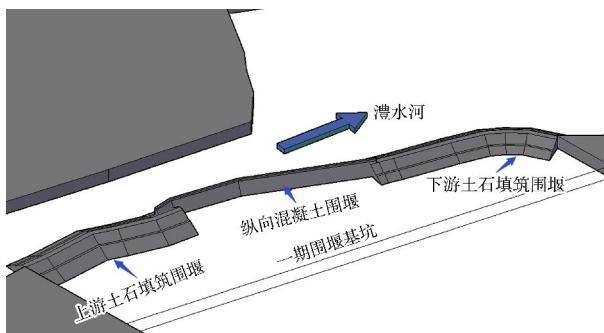


图 1 艳洲枢纽工程项目一期围堰

## 2 地质条件

卵石呈灰黄色, 稍密, 母岩成分主要为石英砂岩、砂岩, 含块石。卵石粒径 3~15 cm, 扁圆状, 磨圆度一般, 含量约占 60%~70%, 级配一般, 分选性一般, 不均匀含少量块石。

中风化石英砂岩呈肉红色, 紫灰色、浅灰色, 薄-中厚层状, 硅质胶结, 具碎裂结构, 间夹多层泥质砂岩(泥岩), 岩质较硬, 岩石破碎, 网纹状节理裂隙较发育, 多呈闭合状, 少量开口状, 裂隙间可见充填褐红色砂泥质, 裂面为褐色、红色矿物质浸染, 钻孔岩芯多呈碎块状、短柱状, 原地面高程约为 27.0 m。

## 3 一期纵向围堰方案

### 3.1 水上部分方案

#### 3.1.1 方案 1

采用重力式混凝土结构, 悬臂爬模工艺进行施工。一期纵向混凝土围堰主要由水下及陆上混凝土围堰组成, 见图 2。其中, 水下混凝土围堰顶高程 33.4 m, 顶宽 5.2 m, 设计挡水标准为  $930 \text{ m}^3/\text{s}$ , 采用钢套箱+水下导管浇筑混凝土。陆上混凝土设计顶高程 43.44~43.74 m, 设计挡水标准为  $1.21 \text{ 万 m}^3/\text{s}$  (10 a 一遇)。

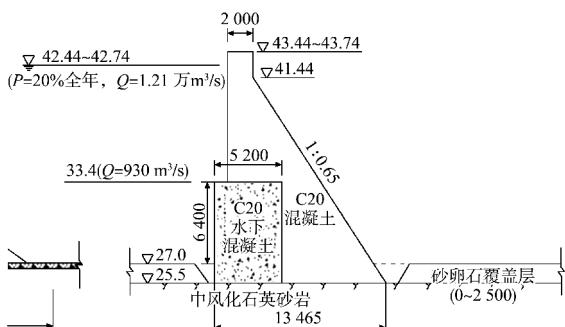


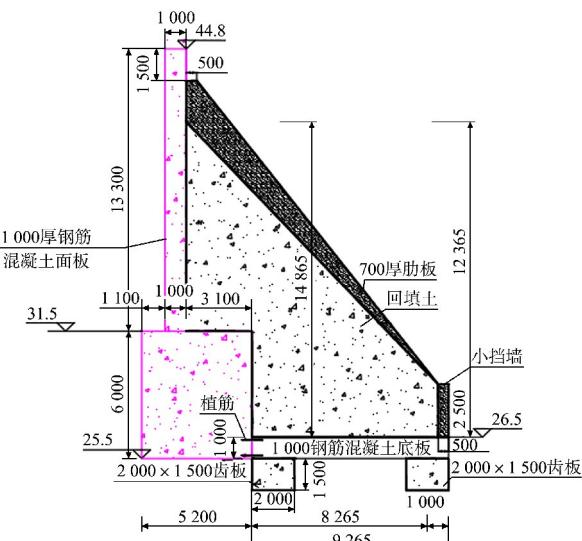
图 2 方案 1 纵向围堰断面 (尺寸: mm; 高程: m)

#### 3.1.2 方案 2

采用扶壁肋板式结构, 见图 3、4, 可减少混凝土用量, 为了维持结构的稳定, 在扶壁墙后堆载河卵石压载。方案 2 的结构调整及施工工序为: 1) 水下混凝土施工完成, 围堰闭气排水后, 在水下混凝土墙上植筋, 浇筑 1 000 mm 厚的钢筋混凝土底板及齿板。2) 底板施工完成后, 施工高程 31.5 m 以下的混凝土肋板及小挡墙, 肋板厚度 700 mm, 间距 5 300 mm, 挡墙厚 500 mm, 高 22.5 m。3) 水下混凝土后肋板施工完成后, 在墙后放坡填筑河卵石至高程 31.5 m。4) 将高程 31.5 m 以上的部分调整为扶壁结构, 面板调整为厚度 1 000 mm 的钢筋混凝土板, 面板后设置厚 700 mm 间距 5 300 mm 的肋板, 与水下混凝土墙后的肋板对接。面板和肋板同步分层施工。5) 面板和肋板分层施工的同时分层放坡回填河卵石, 结构稳定性计算<sup>[1-2]</sup>见表 1。根据表 1 结果, 扶壁结构抗滑稳定性、抗倾覆稳定性均满足要求。

表 1 结构稳定性计算

取值	地基情况	结构等级	抗滑移稳定性系数 $K_c$	抗倾覆稳定性系数 $K_0$
规范允许值	岩石	1 级	$\geq 1.100$ 0	$\geq 1.500$ 0
计算值			1.100 9	1.974 4



注: 围堰设计挡水标准为 10 a 一遇洪水 (水位 43.74 m), 加上波浪爬高和安全超高, 围堰设计高程为 44.8 m。

图 3 方案 2 纵向围堰断面 (尺寸: mm; 高程: m)

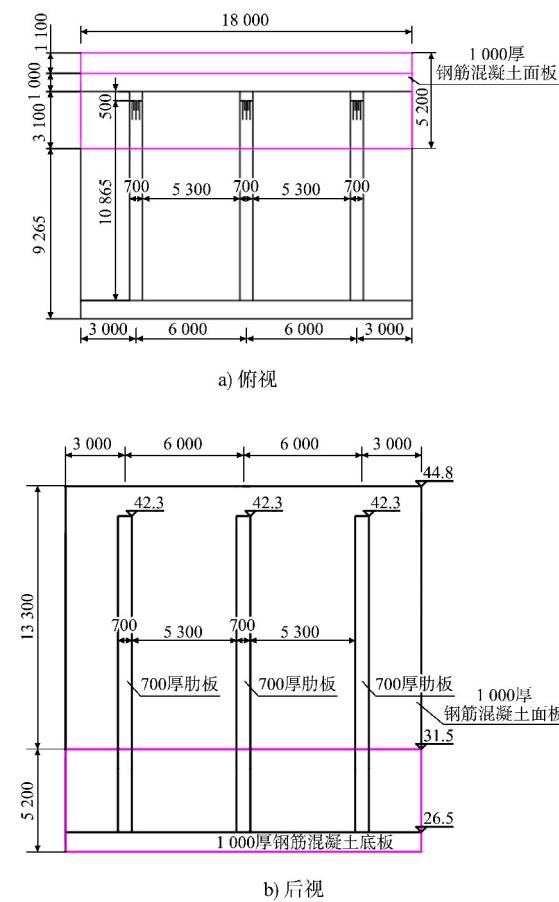


图 4 方案 2 纵向围堰俯视及后视 (尺寸: mm; 高程: m)

### 3.1.3 方案 3

根据现有水文资料,施工常水位为 31.0 m,方案 3 采用扶壁挡土墙结构,见图 5、6,将水下混凝土的顶高程调整为 31.5 m,采用套箱工艺先施工水下混凝土部分,待围堰形成跑堤闭气,排除围堰内的水后干施工扶壁结构。方案 3 的结构调整及施工工序为:1) 水下混凝土施工完成,围堰闭气排水后,在水下混凝土墙上植筋,浇筑厚 1 000 mm 的钢筋混凝土底板。2) 底板施工完成后,施工高程 31.5 m 以下的厚 500 mm 的混凝土挡土墙,与水下混凝土之间采用钢绞线对拉。3) 水下混凝土后挡土墙施工完成后,在墙后填筑河卵石至高程 31.5 m。4) 将高程 31.5 m 以上的部分调整为扶壁结构,面板调整为厚 1 000 mm 的钢筋混凝土板,面板后设置厚 500 mm 的挡土墙,对接水下混凝土墙后的挡土墙。面板和挡土墙同步分层施工。5) 面板和肋板分层施工的同时采用钢绞

线对拉,然后分层回填河卵石,结构稳定性计算<sup>[3-4]</sup>见表 2。根据表 2 结果,扶壁结构抗滑稳定性、抗倾覆稳定性均满足要求。

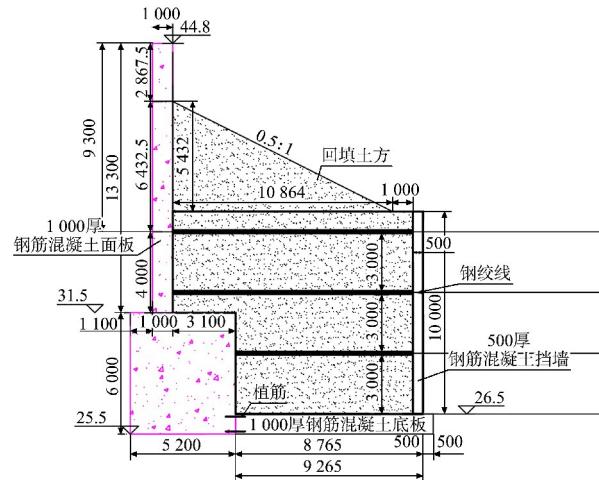
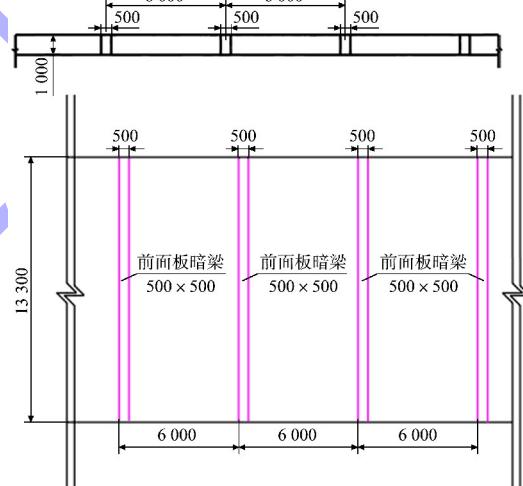
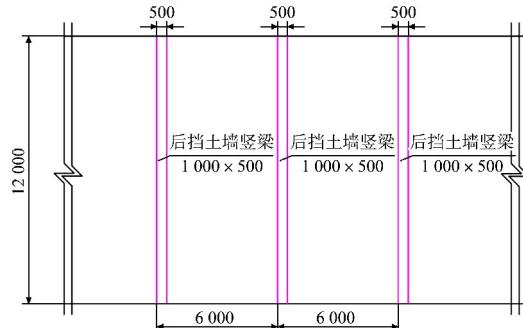
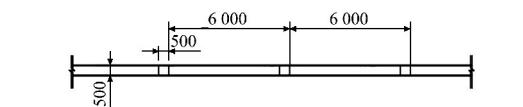


图 5 方案 3 纵向围堰断面 (尺寸: mm; 高程: m)



a) 前面板立面



b) 后挡土墙立面及断面

图 6 方案 3 立面及断面布置 (单位: mm)

表 2 结构稳定性计算

取值	地基情况	结构等级	抗滑移稳定性系数 $K_c$	抗倾覆稳定性系数 $K_u$
规范允许值	岩石	1 级	$\geq 1.100$ 0	$\geq 1.500$ 0
计算值			1.174 0	1.820 1

### 3.1.4 方案比选

对 3 个方案进行经济计算, 得到水上部分方案 1 重力式结构预计费用 9 461.11 万元, 方

案 2 扶壁填土(肋板)结构预计费用 853.52 万元, 方案 3 扶壁挡土墙(钢绞线)结构预计费用 815.33 万元。对 3 个方案工程量进行计算, 结果见表 3。

综合各方案经济性以及工程量, 对 3 个方案的共同点、优缺点进行归纳汇总, 结果见表 4。经综合分析, 采用重力式结构方案。

表 3 水上部分方案工程量统计

方案	项目	工程量/ $m^3$	工期/d	施工时间	设备配置
1	C20 干地混凝土围堰	20 237.00	90	2021-12-01—2022-02-28	2 套模板
	齿板混凝土	1 392.00	25	2021-12-01—2021-12-25	1 台挖机、5 台渣土车
	底板混凝土	2 149.48	26	2021-12-05—2021-12-31	2 套模板
	挡墙混凝土	290.00	31	2021-12-10—2022-01-10	2 套模板
	肋板混凝土	2 800.98	70	2021-12-10—2022-02-18	3 套模板
	面板混凝土	3 085.60	45	2022-01-03—2022-02-18	2 套模板
2	土方回填	17 890.78	50	2022-01-02—2022-02-28	1 台挖机、5 台渣土车
	底板混凝土	2 149.50	31	2021-12-01—2021-12-31	2 套模板
	挡墙混凝土	1 160.00	40	2021-12-15—2022-01-23	2 套模板
	面板混凝土	3 085.60	45	2022-01-03—2022-02-18	2 套模板
3	土方回填	30 810.00	50	2022-01-01—2022-02-28	1 台挖机、5 台渣土车

表 4 水上部分方案比选

方案	相同点	不同点或存在问题	方案优点
1		1) 工程量大, 施工工期较长	结构稳定性好
2	1) 干地施工; 2) 挡水标准 1.42 万 $m^3/s$ ; 3) 结构防渗、稳定性要求相同。	1) 结构复杂, 分层分段较多, 施工难度大; 2) 肋板施工要求高	结构稳定性好
3		1) 结构钢绞线预埋张拉要求高, 控制难度大; 2) 回填前结构稳定性较差	结构简单, 工程量小, 易于施工

### 3.2 水下部分方案优化比选

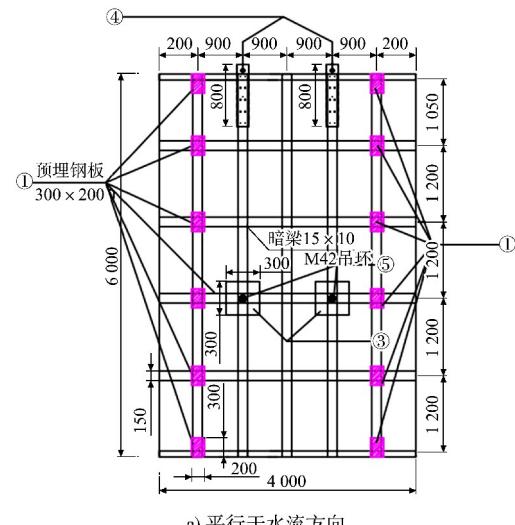
#### 3.2.1 方案 1

采用预应力组合钢套箱工艺, 使用易拆卸式钢套箱<sup>[5]</sup>, 钢套箱为分片式结构, 片与片之间通过预应力钢丝绳连接, 套箱的安装、拆卸工作全部在水面上完成。

#### 3.2.2 方案 2

采用预制拼装混凝土套箱工艺, 纵向围堰水下

混凝土采用预制拼装混凝土套箱施工, 混凝土套箱壁板分 4 块在后场预制, 预制时在端头梁上预埋角钢, 用于套箱拼装时焊接固定。同时为减轻混凝土套箱的质量, 采用框架梁板结构: 断面 150 mm×100 mm 的钢筋混凝土暗梁, 面板厚 100 mm, 中间设置钢丝网片(套箱长度按 4 000 mm 设计), 见图 7。



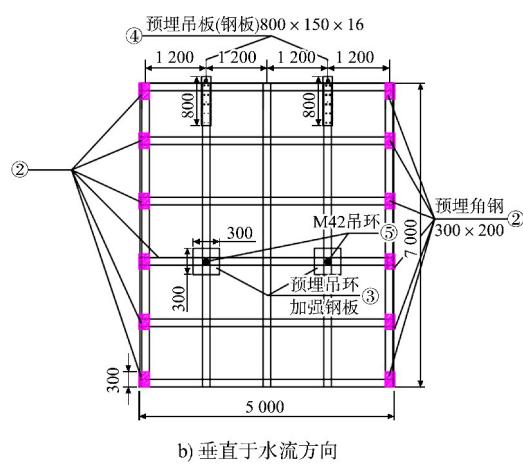


图 7 套箱暗梁布置 (单位: mm)

预制壁板在拼装时, 相邻壁板端头处采用预埋角钢与钢板焊接, 为提高预制套箱整体结构稳定性, 利用壁板内暗梁交叉节点处预埋的锚筋, 将 25 mm 光圆钢筋作为拉杆与锚筋进行焊接, 对拉形成整体受力结构, 见图 8。

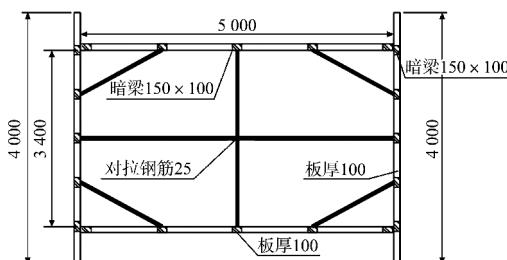


图 8 钢筋直线对拉及斜拉 (单位: mm)

套箱长度方向的壁板预制时, 每端在长度方向挑出 200 mm, 端头焊接槽钢形成卡口, 2 个套箱安装后, 其间形成 1 个隔仓, 浇筑水下混凝土, 解决结构段间的止水问题。

预制套箱整体拼装施工装置为预制套箱壁板陆上拼装量身打造, 可实现预制套箱陆上高效拼装。

### 3.2.3 方案比选

对两套方案进行成本核算, 得到纵向混凝土围堰水下部分方案 1 钢套箱工艺最低成本为 472.81 万元, 方案 2 预制套箱工艺最低成本为 289.00 万元。结合方案成本, 归纳汇总两套方案的共同点及优缺点<sup>[6]</sup>, 结果见表 5。

经对比分析, 方案 2 工艺可节省成本约 183.81 万元,

节约工期约 22 d, 确定此工艺为最终方案。

表 5 水下部分方案比选

方案	相同点	不同点或存在问题	方案优点
1	1) 均通过起重设备拼装及吊装沉放; 2) 均需潜水员进行水下封堵;	1) 不需要焊接 拼装; 2) 采用预应力 钢丝绳加固	材料成本低
2	3) 均需灌注水下混凝土	1) 需要预制混 凝土套箱壁板; 2) 需要焊接 拼装	有效缩短工期

### 4 结语

- 1) 混凝土围堰水上部分采用重力式方案, 其可靠性、结构稳定性、施工难易程度等方面更具优势。
- 2) 预制套箱可兼做混凝土围堰的一部分, 省去传统钢套箱拆除、周转工序, 显著提高施工效率、节约工期。因无需进行套箱拆除, 减少水上作业时间, 从而降低水上作业的风险, 增加施工的安全性。
- 3) 随着工序减少, 可减少人工、机械设备及原材料的投入, 有效降低施工成本。

### 参考文献:

- [1] 江苏省水利勘测设计研究院有限公司. 水工挡土墙设计规范: SL 379—2007 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [2] 水利部长江水利委员会长江勘测规划设计研究院. 水工混凝土结构设计规范: SL191—2008 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [3] 电力工业部中南勘测设计研究院. 水工建筑物荷载设计规范: DL 5077—1997 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [4] 苗延强. 中河水库导流围堰稳定性验算 [J]. 人民长江, 2021, 52(S2): 169-171.
- [5] 刘忠友, 杨贵根, 张家宁. 预应力组合钢套箱设计 [J]. 水运工程, 2012(6): 79-81.
- [6] 袁涛. 钢套箱与混凝土套箱工艺比较 [J]. 公路, 2006(9): 88-89.

(本文编辑 赵娟)