

DOI: 10.7672/sgjs2025220065

硬岩深埋承台双壁钢围堰设计与施工技术研究*

杨圣峰,任初君,刘大成,李响,王泽祥

(中交一公局集团有限公司,北京 100024)

[摘要] 以长沙兴联路大通道工程主航道桥为依托,研究硬岩深埋承台双壁钢围堰的设计与施工关键技术。综合考虑桥址处地质、水文及资源配置等因素,设计了双壁钢围堰与钢护筒整体结构,并对双壁钢围堰的受力进行了整体分析。提出了钢围堰与钢护筒整体设计、制造与安装方法,采用大节段钢围堰竖向分节水上整体对接施工工艺,研发了钢围堰浮态定位系统,形成了护筒与钢围堰整体制造、对接与定位成套技术,实现钢围堰与钢护筒整体快速精确定位,减少了深水作业工作量,节省了后期钢护筒安装工期。

[关键词] 桥梁;承台;钢围堰;施工技术

[中图分类号] U445

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)22-0065-05

Study on Design and Construction Technology of Double-wall Steel Cofferdam for Deep-buried Bearing Platform in Hard Rock

YANG Shengfeng, REN Chujun, LIU Dacheng, LI Xiang, WANG Zexiang

(China Communications First Highway Engineering Group Co., Ltd., Beijing 100024, China)

Abstract: Based on the main channel bridge of the Xinglian Road Grand Corridor Project in Changsha, the design and construction key technologies of double-wall steel cofferdam for deep-buried abutments in hard rock were studied. Taking into account factors such as geology, hydrology, and resource allocation at the bridge site, an integrated structure of double-wall steel cofferdam and steel casing was designed, and the overall stress of the double-wall steel cofferdam was analyzed. The overall design, manufacturing, and installation methods of the steel cofferdam and steel casing were proposed. The construction process of vertical sectionalization and overall docking of large-section steel cofferdams on water was adopted, and a steel cofferdam floating positioning system was developed. A complete set of technologies for the integrated manufacturing, docking, and positioning of casing and steel cofferdam was formed, achieving rapid and precise positioning of the steel cofferdam and steel casing as a whole, reducing the workload of deepwater operations and saving the installation period of the steel casing in the later stage.

Keywords: bridges; bearing platform; steel cofferdam; construction

0 引言

随着桥梁基础施工技术的不断发展,桥梁工程日益向深水化、大跨度的方向发展,复杂环境下的钢围堰结构形式不断涌现,桥梁水中基础普遍设置钢围堰形成无水环境进行施工^[1-3]。钢板桩围堰、钢管桩围堰、单壁/双壁钢围堰、钢吊箱围堰等为较常见的围堰结构类型^[4]。本文依托长沙兴联路大

通道主航道桥 51 号墩双壁钢围堰工程,结合桥址处地层岩性,对围堰基坑进行爆破开挖,为减少现场钢护筒安装时间,采用钢护筒与钢围堰整体设计、加工、下放工艺,并对施工过程中的受力进行详细分析^[5-9]。

1 工程概况

长沙兴联路大通道工程主航道桥跨径布置为(165+380+165)m,为双索面钢混组合梁斜拉桥,全桥设 2 座桥塔和 2 个过渡墩,桥梁宽 38.5m,如图 1 所示。

主航道桥 50、51 号索塔承台采用哑铃形承台,

* 国家重点研发计划(2023YFA1008904);中交一公局集团有限公司科技研发项目:I 级航道深水裸岩水下深基坑施工成套技术(KJYF-2022-A-01)

[作者简介] 杨圣峰,高级工程师,国家一级注册建造师,E-mail: 865022340@qq.com

[收稿日期] 2025-05-22

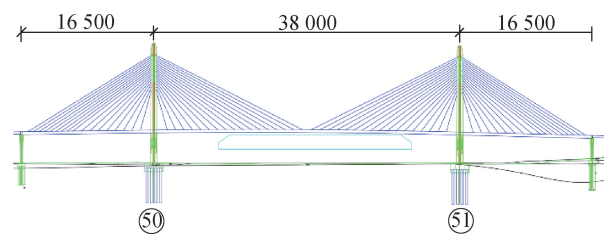


图 1 主航道桥立面布置(单位:cm)

Fig. 1 Main channel bridge elevation layout(unit:cm)

顶面标高分别为 19.500、18.000m,混凝土强度等级为 C35,横桥向宽 62.5m,顺桥向宽 22.6m,厚 7m,承台下设 28 根直径 2.8m 的桩基础及封底混凝土(见图 2),承台为全埋式。

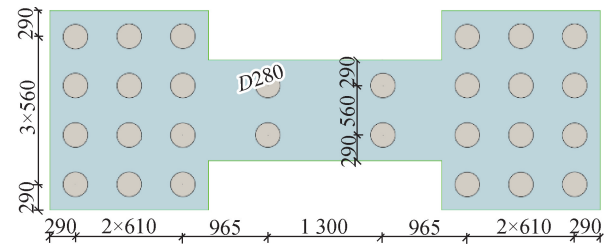


图 2 主塔基础布置(单位:cm)

Fig. 2 Main tower foundation arrangement (unit:cm)

桥位区河床覆盖层较薄,最大厚度 1m,岩层为中风化板岩,岩石强度较高。桥址处常水位标高 30.000m,河床标高 19.000m,承台顶标高 18.000m。承台基坑采用爆破开挖。为此需研究深水硬岩面钢围堰与钢护筒整体设计施工技术,解决围堰入水、对接、定位及后期钢护筒安装等技术难题。

2 双壁钢围堰设计

51 号主墩承台采用双壁钢套箱围堰,围堰形状为哑铃形,围堰长 66.3m、宽 26.4m、高 24.0m、壁厚 1.8m,围堰侧板顶高程为 32.000m,围堰侧板底高程 8.000m,单套围堰总重约 2 400t。围堰在工厂进行加工,竖向分 3 节制造,第 1、2 节接高后整体浮运至桥位,第 3 节驳运至桥位处整节段起吊安装(见图 3)。

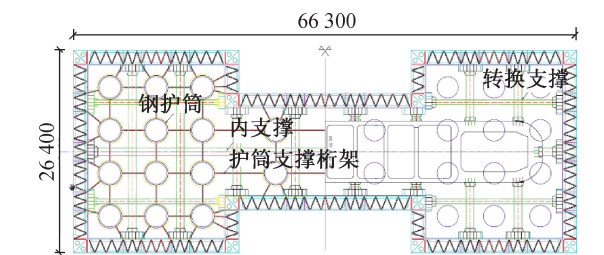


图 3 钢围堰结构布置

Fig. 3 Structural arrangement of steel cofferdam

围堰共分 3 节,自下而上节段划分为(8.6+7.2+

8.2)m。围堰内外壁板均采用 6mm 钢板,隔舱板处壁板采用 20mm 钢板,围堰四角壁板贴 10mm 钢板补强;竖肋采用 75mm×50mm×6mm 不等边角钢,最大间距 35cm;隔舱板分为封闭式和联通式,均采用 16mm 钢板,隔舱板采用水平钢板和等边角钢加强。封底采用 C30 水下混凝土,封底高度为 3.0m;壁仓填充采用 C30 混凝土,填充高度 11.7m。

围堰侧板水平桁架自下而上共分为 2 种类型。围堰底部 10.1m 范围内,水平桁架环板采用 260mm×16mm 钢板,斜杆采用 100mm×10mm 等边角钢;其余水平桁架环板采用 260mm×20mm 钢板,斜杆采用 100mm×10mm 等边角钢。

围堰施工过程中共设置 3 层永久内支撑。内支撑垫梁采用 2HN900×300 型钢,钢管采用 $\phi 1\ 020\times 12$ 、 $\phi 630\times 16$ 螺旋焊管;墩身施工过程中,设置 2 层转换内支撑,与永久内支撑型号相同,一端通过垫座支撑在围堰侧板上,另一端支撑在墩身上。转换内支撑安装后,每根转换内支撑应施加 50kN 预加力,使其与围堰侧板和墩身顶紧。

3 双壁钢围堰结构计算

3.1 计算工况分析

围堰各结构强度计算工况如表 1 所示。

表 1 钢围堰各计算工况
Table 1 Each calculation working condition of steel cofferdam

工况	施工步骤	控制水位/m	控制流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
工况 1	吊装第 1 节围堰	—	—
工况 2	接高全部围堰及护筒	—	—
工况 3	围堰抽水	32.000	1.26
工况 4	拆除第 3 道内支撑	32.000	1.26
工况 5	安装转换支撑 1	32.000	1.26
工况 6	安装转换支撑 2	32.000	1.26

3.2 建模说明

采用 Midas 有限元软件建立三维模型进行钢围堰整体分析,围堰面板及隔舱板采用板单元进行模拟,水平桁架、水平环板及内支撑结构均采用杆单元模拟,封底混凝土及隔舱混凝土采用实体单元模拟,内支撑垫梁与钢套箱之间采用弹性连接模拟^[1]。整体模型共 22 181 个结点,42 109 个单元,围堰 1/2 模型如图 4 所示。

3.3 钢围堰受力分析

采用有限元软件按 6 种施工工况对整体模型进行计算分析,围堰应力云图如图 5 所示。

由图 5 可知,围堰钢结构采用 Q235 钢材,混凝土采用 C30 混凝土,梁单元最大应力为 178.1MPa,

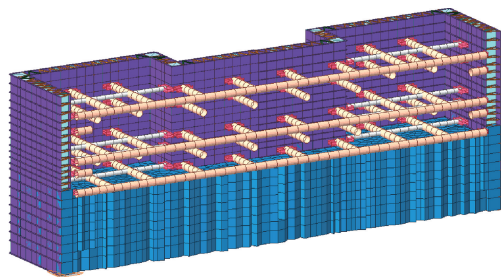
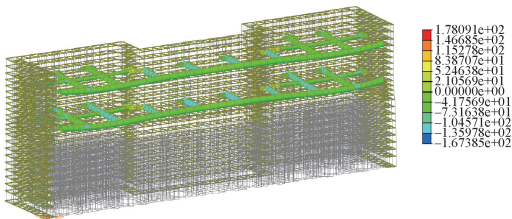
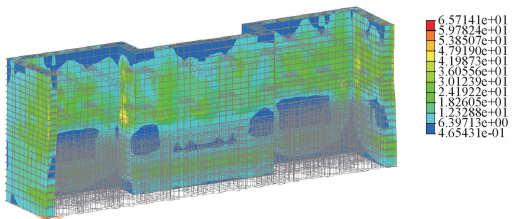


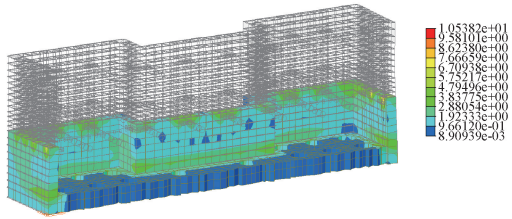
图 4 围堰模型
Fig. 4 Steel cofferdam model



a 梁单元



b 板单元



c 实体单元

图 5 钢围堰应力云图(单位:MPa)

Fig. 5 Stress cloud map of steel cofferdam(unit:MPa)

板单元最大应力为 65.7MPa,实体单元最大压应力为 10.5MPa,各构件强度及刚度均满足要求。

4 深水硬岩面钢围堰施工技术

4.1 施工工艺流程

该主墩承台围堰施工工艺流程如图 6 所示。

4.2 硬岩深埋承台基坑爆破技术

承台基坑采用爆破开挖,考虑爆破开挖基坑底面平整度的影响,超深开挖 1m,基坑开挖总深度 12m,开挖后桥址处常水位水深 22m。爆破开挖分 3 层进行开挖,第 1,2 层开挖 5m,第 3 层开挖 2m,第 3 层开挖兼顾基坑标高控制。爆破孔位布置间距为 2m×2.5m,采用垂直钻孔,布孔方式为矩形。爆破钻孔作业如图 7 所示。

首排炮孔单孔装药量 Q 计算如下:

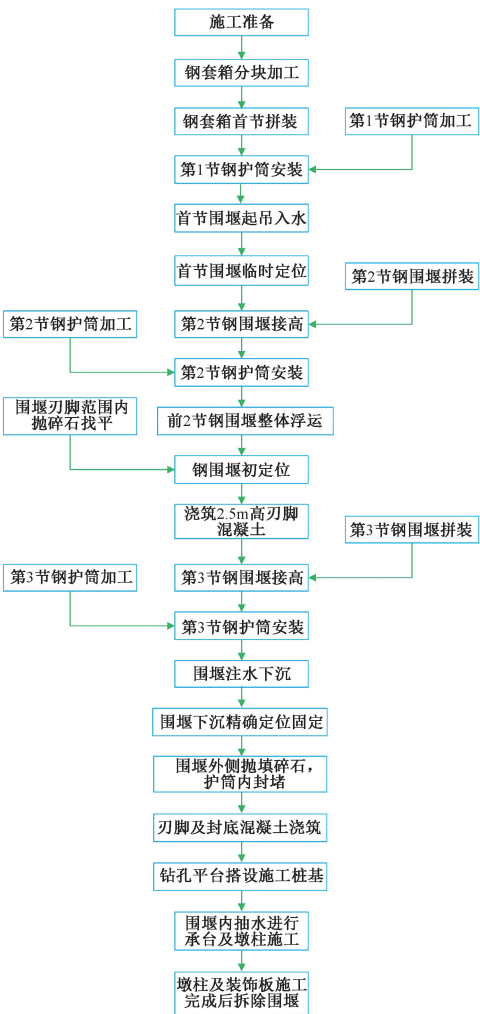


图 6 主墩承台围堰施工流程

Fig. 6 Construction flow of main pier cap cofferdam

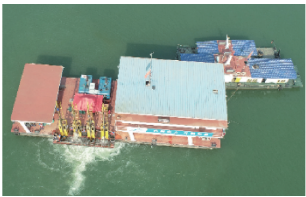


图 7 爆破钻孔作业

Fig. 7 Hole drilling operation

$$Q = q_0 abH_0 \tag{1}$$

式中: q_0 为单位爆破岩石炸药消耗量,取 1.2kg/m³; a 为炮孔间距,取 2m; b 为炮孔排距,取 2.5m; H_0 为设计开挖最大岩层厚度+超深 1m,取 6m。

经计算, $Q=36\text{kg}$,采用 $\phi 70$ 乳化炸药和非电毫秒导爆管雷管。

爆破作业主要分减振孔施工、水下爆破施工和水下清渣施工,水下爆破施工工艺:钻爆船定位→水下钻孔→炮孔装药→连接起爆网络→钻爆船移位→起爆→清渣。

4.3 钢围堰与钢护筒整体制造安装技术

针对“先堰后桩法”施工,主墩钢护筒定位安装共有 2 种施工方式:一种是传统方式,将钢围堰与钢护筒分开加工制作,待 3 节围堰完成接高后,钢护筒逐根吊装至相应位置进行安装,使用简易桁架在上口处进行固定;另一种是改进方式,将单根钢护筒分为 3 节,首节钢围堰与首节钢护筒通过桁架连接,整体加工制作吊装下水,随后接高下一节围堰及钢护筒。

该工程桥址处岩层强度较高,后期钢护筒安装定位困难,结合实际情况,提出钢护筒与围堰整体安装方法。底节围堰焊接完成后,定位钢护筒相对坐标,安装钢护筒,钢护筒与围堰侧壁采用 I25 及 I20 进行连接,钢护筒支撑桁架高度全部处于封底混凝土高度范围内。封底范围以外,在内支撑焊接导向架对钢护筒进行固定。钢护筒与围堰焊接如图 8 所示。



图 8 钢护筒与围堰焊接

Fig. 8 Welding of steel casing and cofferdam

4.4 钢围堰与钢护筒整体入水浮态接高技术

围堰总重约 2 400t,整体入水困难,将围堰竖向分为 3 节,首节围堰重约 1 000t,采用 2 台 800t 起重船抬吊入水自浮,并临时定位;第 2 节围堰焊接后,将第 2 节围堰抬吊与第 1 节围堰对接,对接精度达到要求后脱钩,焊接围堰壁板。围堰接高完成后,利用围堰内支撑焊接导向架,吊装钢护筒进行对接接高。

为避免起吊过程变形过大,钢围堰设置 16 个吊点,2 个吊点使用 1 根钢丝绳,并对吊耳位置进行加强处理。采用起重船索具钩将 2 根钢丝绳分别挂于 1 个主钩,每个主钩同一侧悬挂同一根钢丝绳。从码头起吊时,起重船位于钢围堰长边侧。

前 2 节浮运至桥位后,第 3 节在桥位进行浮态接高,每节围堰均先接高围堰后接高钢护筒,如图 9 所示。

4.5 整体围堰竖向定位技术

由于围堰基坑为爆破超开挖,实际开挖深度超过围堰底标高,导致围堰定位时不能落于开挖基坑顶面,处于悬浮状态,竖向支撑定位困难,故而研发



图 9 围堰与钢护筒水上接高作业

Fig. 9 On-site elevation operation of the cofferdam and steel casings

了竖向定位精调系统。竖向定位支撑通过围堰四周 8 根螺旋钢管支腿,支腿通过抱箍与围堰壁板进行约束,并在围堰壁板和支腿焊接反压牛腿,在牛腿上布设千斤顶对围堰竖向高程进行精调,如图 10 所示。

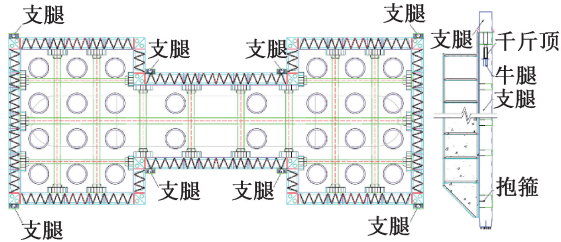


图 10 竖向定位结构

Fig. 10 Vertical positioning structure

围堰平面初定位后继续隔舱内注水下沉至设计标高,通过调节注水初步调整围堰顶标高。在调节牛腿上安装 100t 千斤顶并利用油泵将每个千斤顶的行程调节至合适位置,在千斤顶顶部安装精调反力抱箍牛腿。继续向围堰隔舱内注水压重,通过 16 个 100t 千斤顶对围堰顶标高进行精调,完成精调后,在围堰顶口将钢管支腿与抱箍牛腿焊接固定,竖向临时锁定,完成初定位。支腿安装如图 11 所示。



图 11 竖向定位支腿安装

Fig. 11 Installation of the vertical positioning system outriggers

封底混凝土浇筑前需对钢护筒底口及围堰四周进行封堵。钢围堰刃脚底部位置用袋装干拌砂浆进行码放封堵,上部用砂袋装黏土回填,回填高度与封底厚度相当。钢护筒底部与岩面接触位置用袋装碎石进行码放封堵,码放高度与封底混凝土高度相同,其作用为防止混凝土渗水。浇筑封底

混凝土时,壁体的连通器一直为打开状态,以保持围堰内外水头平衡。围堰初定位后封堵如图 12 所示。



图 12 围堰刃脚封堵施工
Fig. 12 Sealing construction at the
cofferdam cutting shoe

5 结语

以长沙兴联路大通道工程主航道桥双壁钢围堰设计施工为研究对象,设计了双壁钢围堰与钢护筒整体结构,确保了围堰与钢护筒整体下放就位,降低了后期钢护筒安装难度,节约了施工工期。采用了围堰分节段入水,减少了单次吊装质量,水上浮态精确接高,保证了围堰加工精度。围堰整体浮运就位后,研发了竖向浮态定位系统,围堰悬浮定位工作全部水上完成,确保工程定位精度。

参考文献:

[1] 夏争志,王占鲁. 大直径深水钢围堰设计施工技术研究[J]. 公路,2020,65(5):160-166.
XIA Z Z, WANG Z L. Study on design and construction technology of large diameter deep-water steel cofferdam [J]. Highway, 2020, 65(5): 160-166.
[2] 郁光耀. 深水施工双壁钢吊箱围堰关键技术研究[J]. 公路, 2020, 65(4): 221-224.
YU G Y. Study on key technology of double-wall steel box cofferdam in deep water construction[J]. Highway, 2020, 65(4): 221-224.

[3] 秦大燕,韩玉,罗小斌,等. 双壁钢围堰结构强度直接分析法 [J]. 公路, 2016, 61(8): 107-111.
QIN D Y, HAN Y, LUO X B, et al. Direct analysis method of structural strength of double-walled steel cofferdam[J]. Highway, 2016, 61(8): 107-111.
[4] 许红胜,颜东煌,黄元群. 深水基础钢围堰结构方案比选研究 [J]. 中外公路, 2007, 27(3): 94-97.
XU H S, YAN D H, HUANG Y Q. Comparative study on structural schemes of steel cofferdam for deep water foundation [J]. Journal of China & foreign highway, 2007, 27(3): 94-97.
[5] 杨圣峰,刘晓星,冯燕平,等. 深水致密砂岩地层中钢板桩围堰技术研究[J]. 公路, 2021, 66(1): 184-188.
YANG S F, LIU X X, FENG Y P, et al. Study on steel sheet pile cofferdam technology in deep water tight sandstone formation[J]. Highway, 2021, 66(1): 184-188.
[6] 苏从辉,尚龙. 池州长江公路大桥 4 号主墩钢围堰施工技术 [J]. 世界桥梁, 2018, 46(5): 32-35.
SU C H, SHANG L. Construction techniques for steel cofferdam of main pier No. 4 of Chizhou Changjiang River highway bridge[J]. World bridges, 2018, 46(5): 32-35.
[7] 周燕飞. 可拆装式双壁锁口钢围堰施工技术[J]. 世界桥梁, 2017, 45(2): 14-18.
ZHOU Y F. Construction techniques for removable double-wall interlocked steel box cofferdam[J]. World bridges, 2017, 45(2): 14-18.
[8] 顿琳,王令侠. 马鞍山公铁两用长江大桥主航道桥 Z4 号墩围堰施工关键技术[J]. 桥梁建设, 2023, 53(2): 10-16.
DUN L, WANG L X. Key construction techniques for cofferdam of pier Z4 of main navigation channel bridge of Maanshan Changjiang River rail-cum-road bridge[J]. Bridge construction, 2023, 53(2): 10-16.
[9] 詹翔宇. 富顺沱江特大桥锁扣钢管桩围堰施工技术研究 [D]. 成都:西南交通大学, 2018.
ZHAN X Y. Construction technology of steel pilecofferdam on Tuo River bridge in Fushun [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2018.