



Design and Practice of Underwater Steel Pipe Pile Cofferdam

He Ming^{*}, Xu Quan-Biao, Chen Sheng-Xian

Institute of Geotechnical and Underground Engineering Design, The Architectural Design & Research Institute of Zhejiang University Co. Ltd, Hangzhou, China

Email address:

hm851930478@163.com (He Ming)

^{*}Corresponding author

To cite this article:

He Ming, Xu Quan-Biao, Chen Sheng-Xian. Design and Practice of Underwater Steel Pipe Pile Cofferdam. *Science Discovery*.

Vol. 10, No. 2, 2022, pp. 41-47. doi: 10.11648/j.sd.20221002.14

Received: March 16, 2022; **Accepted:** April 9, 2022; **Published:** April 14, 2022

Abstract: Based on a new pedestrian bridge project on Fuchun River in Hangzhou, this paper carries out special steel pipe pile cofferdam support design for its underwater pier cap during construction, analyses and studies several problems existing in the design of steel pipe pile cofferdam, carries out calculation and analysis according to two-dimensional and three-dimensional modeling and refers to the engineering experience of similar projects, and takes the following main solutions. Firstly, soil unloading measures are taken along the river bank. In order to reduce the earth pressure load on the shore side, the construction platform of the top-supported steel convenient bridge is built to reduce the horizontal construction load on the shore, and balance the water and soil sides by two measures to meet the safety requirements of the design of the steel pipe pile cofferdam, reduce the overall deformation and displacement of the steel pipe pile cofferdam, and during the construction of the underwater cap. The monitoring data of each foundation pit of steel pipe pile cofferdam are within the normal safety range, and the construction of underwater pier caps has been completed satisfactorily, which can provide design ideas and references for similar projects.

Keywords: Steel Pipe Pile Cofferdam, Water and Soil Imbalance, Deformation, Unloading, Monitor

关于水中钢管桩围堰设计与实践

贺明^{*}, 徐铨彪, 陈圣贤

浙江大学建筑设计研究院有限公司岩土与地下工程设计研究院, 杭州, 中国

邮箱

hm851930478@163.com (贺明)

摘要: 本文以杭州富春江上某新建人行桥项目为依托, 对其水下桥墩承台在施工时进行专项钢管桩围堰支护设计, 并对钢管桩围堰设计中存在的若干问题进行分析研究, 根据二维及三维建模进行计算分析以及参考类似项目的工程经验, 采取了以下的主要解决措施, 首先对河岸边进行了卸土措施, 以此来减少靠岸侧的土压力荷载, 其次搭建了上承式支撑钢便桥的施工平台, 减小岸边的水平向施工荷载, 通过两项措施达到水土两侧相互平衡, 以此来满足钢管桩围堰设计的各项安全要求, 减小钢管桩围堰的整体变形和位移, 整个水下承台施工期间, 钢管桩围堰的各项基坑监测数据均在正常要求的安全范围以内, 圆满的完成了水下桥墩承台的施工, 可为类似工程项目提供设计思路和参考。

关键词: 钢管桩围堰, 水土不平衡, 变形, 卸载, 监测

1. 引言

随着现代化城市的不断发展，我国的基础设施建设不断的在完善，越来越多的水上大桥被建造出来，其中水下桥墩承台在施工过程中往往需要在无水环境下进行，作为临时结构的止水围堰设计必不可少[1-2]，但近些年围堰倒塌、漏水等事故层出不穷，直接损害到人身安全，造成经济损失十分巨大，例如2013年10月12日，在建的重庆丰都长江二桥4号桥墩围堰突然失稳，整体断裂向上游倾覆，造成在围堰中作业的10名工人和岸边1名群众遇难，2人受伤；1997年，天津彩虹大桥桥墩承台钢围堰由于高潮位时，钢板桩四周突然向内倾覆，大量海水和泥沙涌入基础，工人被涌上水面，2人遇难。因此如何保证水下承台施工安全可靠，水下围堰如何设计可行？当下研究水下围堰设计与施工的必要性迫在眉睫。李昌荣等[3]对不同施工阶段下钢围堰的变形、支撑和围堰应力及结构整体稳定性做了计算分析；催春义等[4]针对不同水位下钢板桩围堰呈现的受力变形特征进行了分析与讨论。曾庆敦等[5]利用有限元Ansys软件对围堰结构进行建模,分析和计算了各种工况下钢板桩及各层内支撑的强度，刚度和稳定性。可见水下钢围堰从各个方面的设计研究尤为重要。虽然众多学者对钢围堰从不同方面都进行了分析讨论和研究，但大部分都是钢板桩围堰的设计分析与研究方法，目前关于钢管桩组合围堰的整体受力分析和研究寥寥无几。

因此，本文则以杭州富春江上某人行桥的修建为例，介绍桥梁水下桥墩承台在施工时采用的钢管桩围堰设计

方法，包括钢管桩围堰设计的适用性、可行性、安全稳定性以及设计过程中遇到的众多问题及其解决的思路和方法，通过各项数据分析及设计研究，该钢管桩围堰成功实施，并取得了良好的效果，可为此类水下围堰项目进行参考和借鉴。

2. 工程概况

拟建桥梁位于杭州市富春江上，见图1，人行桥为人行景观桥梁，无车辆通行，桥梁总长约334m，共8跨，引桥为多跨钢结构等截面连续梁桥，单孔跨径约30m，主桥上部结构为悬索桥，单孔最大跨径为106m，标准段宽约6.0m，下部桥台采用埋置式轻型桥台，钻孔灌注桩基础，两岸锚碇均采用重力式锚墩，埋深约在现状地面以下8.7m和5.2m。河道为六级内河航道，通航净宽78m(航道要求)，净高6.0m，最高通航水位9.70m；50年一遇洪水水位7.50m。

场地土层较为复杂，浅部为1-0-2耕土、1-1粉质粘土，其下为1-3含粘性土砾砂、2-1-a粉砂、2-1-b砂质粉土，再往深处则为4-3粉砂、5-3砾砂以及6-3-2卵石等，土层渗透系数较大，含水量较高，止水是本次深围堰设计的重点。场地土层性质指标详见表1。

本工程桥梁水下桥墩承台垫层底-2.60m，靠水侧洪水水位7.50m，常水位4.33m，靠岸侧地面标高8.00m，加上坑底设计1m厚封底混凝土，围堰开挖深度达11.60m，属一级深围堰。深围堰支护设计采用φ630×14mm的钢管桩结合三道φ609×16mm的钢管支撑，详见图2。



图1 围堰平面位置图。

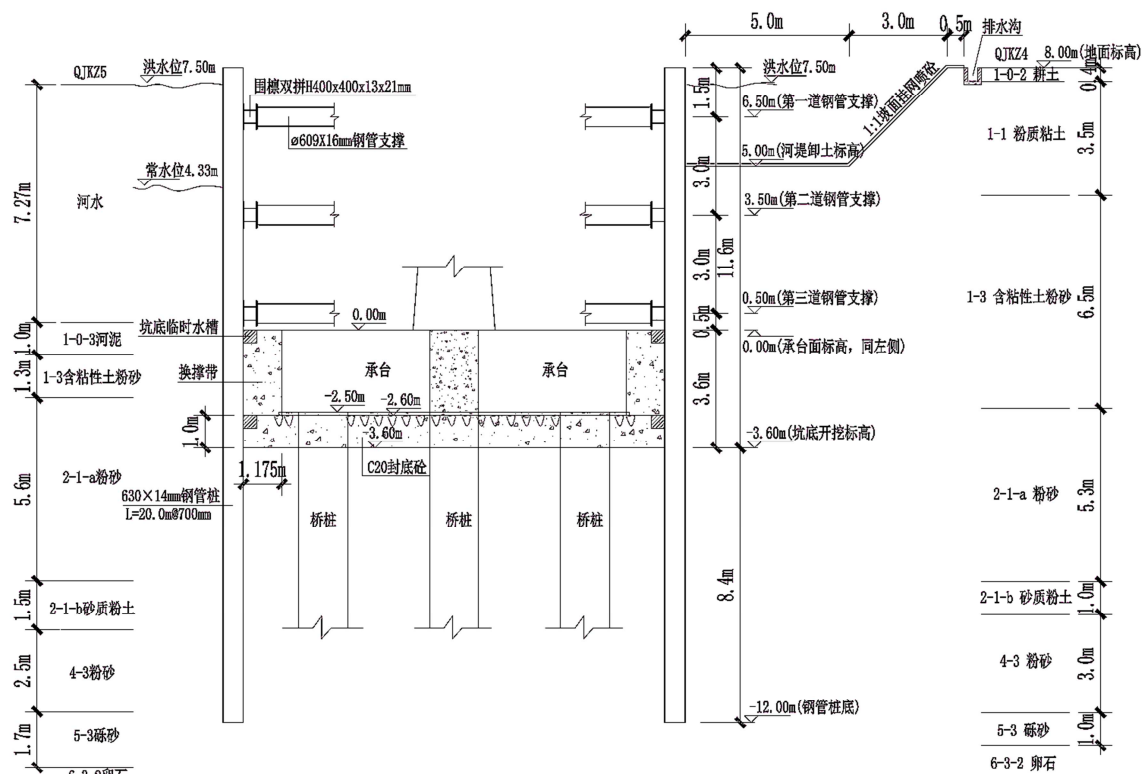


图2 钢管桩围堰支护设计剖面图。

表1 地基土物理力学性质指标。

土层名称	重度 γ /(kN/cm ³)	粘聚力 c /(kPa)	内摩擦角 φ /(°)	渗透系数/(cm/s)	
				K_v	K_H
1-0-2耕填土	(17.0)	(10.0)	(12.0)	(5.0×10^{-4})	
1-1粉质粘土	18.3	22.0	13.5	4.0×10^{-6}	7.3×10^{-6}
1-3含粘性土粉砂	19.1	(5.0)	(25.0)	2.0×10^{-3}	
2-1-a粉砂	19.1	(4.0)	(28.0)	4.5×10^{-2}	
2-1-b砂质粉土	19.0	7.7	27.7	3.0×10^{-4}	
4-3粉砂	19.1	(4.0)	(29.0)	2.2×10^{-2}	
5-3砾砂	19.5	(3.0)	(30.0)	5.5×10^{-2}	

2.1. 钢管桩围堰典型剖面受力结果分析

根据理正深基坑计算软件F-SPW 7.0进行建模分析[6-7]，结果见图3～图5；

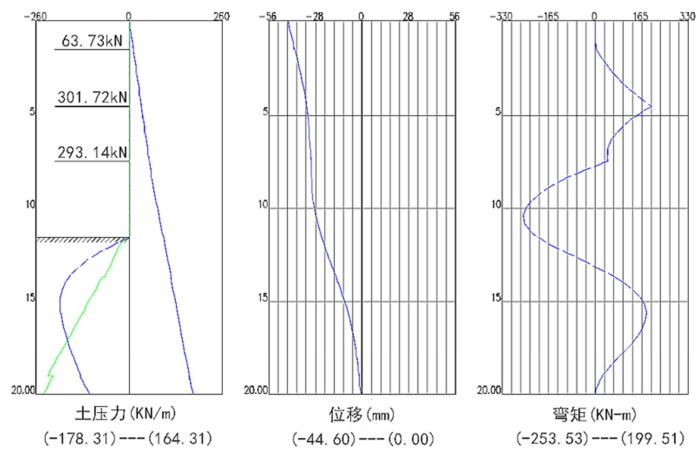


图3 靠水侧剖面计算。

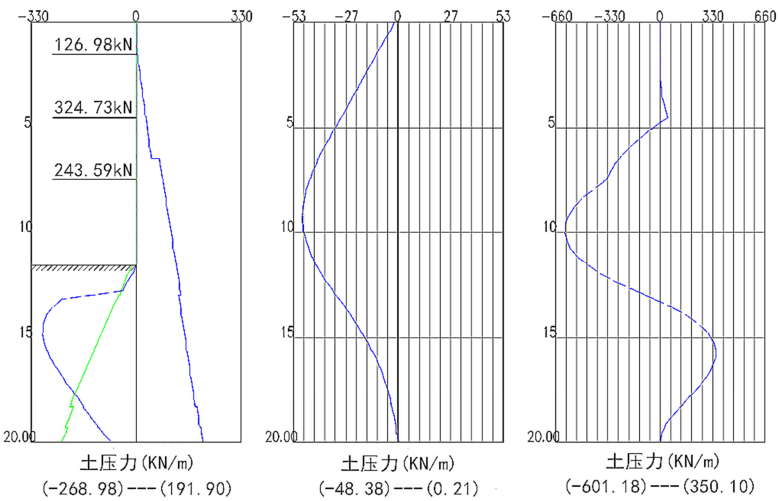


图4 靠岸侧卸土前剖面计算。

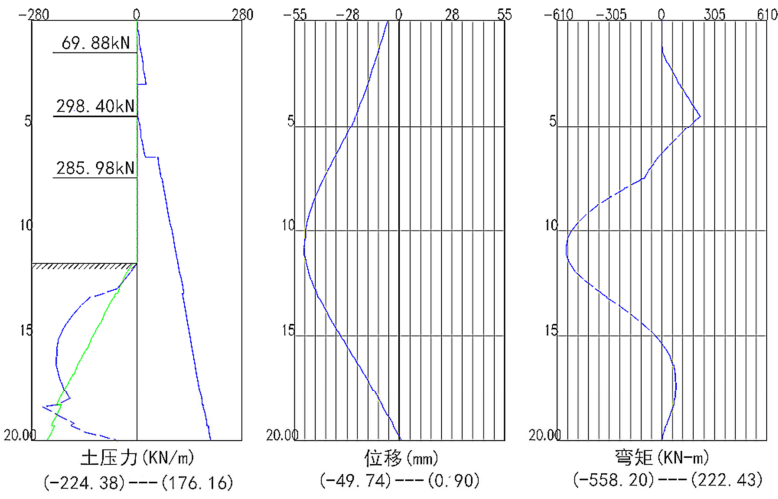


图5 靠岸侧卸土后剖面计算。

根据模拟分析结果，以开挖到坑底至浇筑承台混凝土之前为最不利工况，得出靠水侧、靠岸侧卸土前和靠岸侧卸土后围堰钢管支撑水平受力以及围堰钢管桩位移和弯矩，详见表2～表3。

表2 钢支撑水平受力分析结果。

	靠水侧	靠岸侧卸土前	靠岸侧卸土后
第一道支撑/kN	63.73	126.98	69.88
第二道支撑/kN	301.72	324.73	298.40
第三道支撑/kN	293.14	243.59	285.98

表3 围堰钢管桩位移和弯矩分析结果。

	靠水侧	靠岸侧卸土前	靠岸侧卸土后
位移/mm	-44.60	-48.38	-49.74
弯矩/kN-m	-253.53	-601.18	-558.20

2.2. 钢管桩围堰整体受力结果分析

根据理正深基坑计算软件F-SPW 7.0对整个钢管桩围堰及钢管支撑进行整体模拟分析，整体模型详见图6。

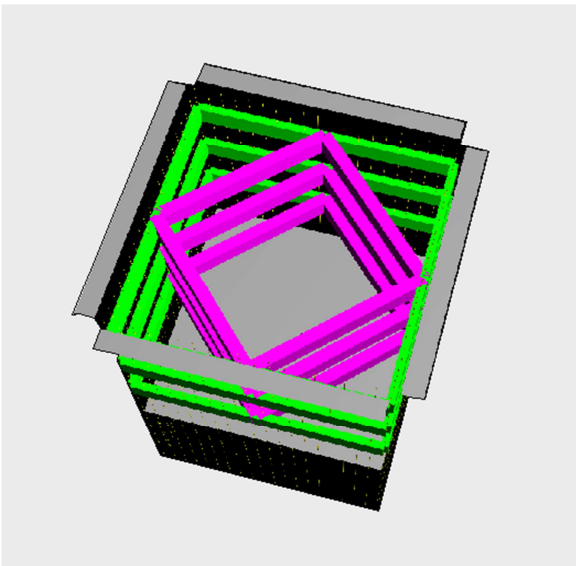


图6 整体建模模型。

根据模型,以开挖到坑底至浇筑承台混凝土之前为最不利工况,各个结构位移、受力等的变化情况,详见图7~图10。

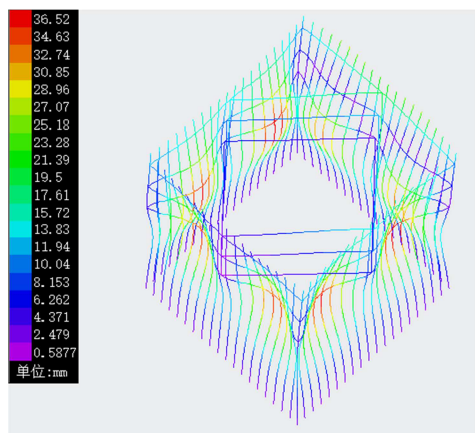


图7 围堰整体总位移。

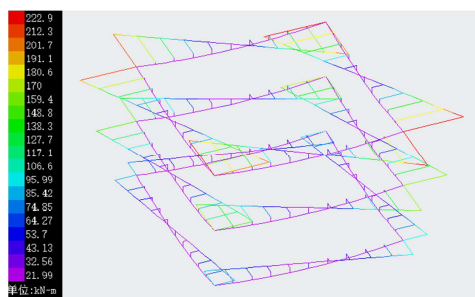


图8 钢支撑弯矩。

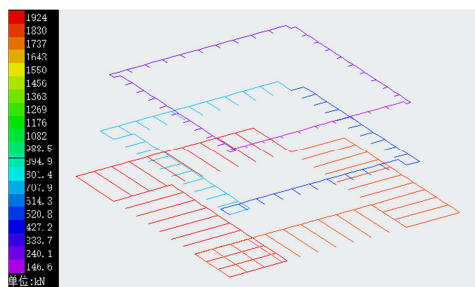


图9 钢支撑轴力。

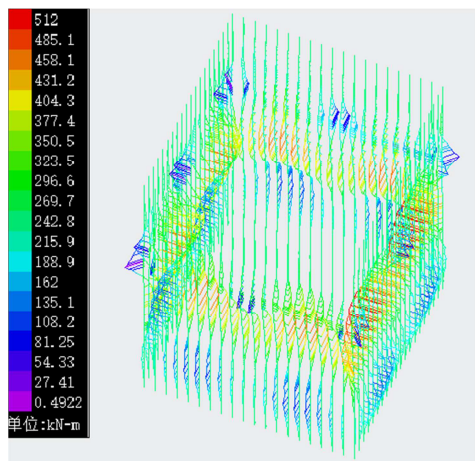


图10 钢管桩桩身弯矩。

由整体模拟结果可知,钢管桩围堰整体位移最大值为36.52mm,钢管支撑弯矩最大值为222.9kN-m,钢管支撑轴力最大值为1924kN,钢管桩桩身弯矩最大值为512kN-m[8-16]。以上各个数据均在规范要求的安全值以内。

3. 控制围堰变形采取的措施

3.1. 措施一：靠岸侧围堰坑外卸土

由典型剖面受力分析中表2表3可知,围堰靠岸一侧在卸土前三道钢管支撑的水平受力、钢管围护桩桩身位移和弯矩均大于靠水侧,极易产生围堰整体向河内倾斜的风险,因此靠岸侧从地面卸土3m并留出一个5m的平台,详见图2及图11,由典型剖面分析中表2表3可知,靠岸侧卸土后,三道钢管支撑的水平受力、钢管围护桩桩身位移和弯矩均与靠水侧接近,极大地解决了围堰整体由于水土不平衡向河内倾斜的风险。

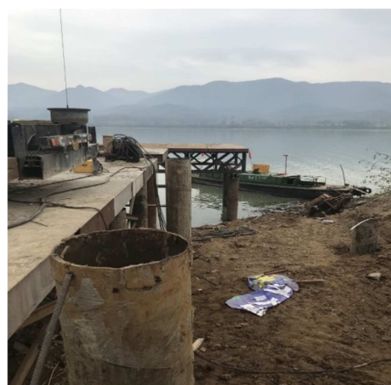


图11 坑边卸土。

3.2. 措施二：搭建上承式支撑钢栈桥

由于水上施工机械荷载较大,加上围堰本身就有倾斜的风险,如果靠岸侧施工机械站在坑边采取传统施工作业会加大围堰向河内倾斜的风险,因此,采用了搭建上承式支撑钢栈桥的方法,详见图1及图12,钢栈桥搭建于钢围堰四周,其上设置钢平台,下部打设钢管桩主要承载竖向荷载,钢管桩间采用槽钢剪刀撑交叉连接,以提高钢栈桥整体稳定性,施工机械可与钢栈桥上施工作业,不仅减小了坑边施工荷载,又方便了桥墩承台施工。



图12 搭建钢栈桥。

4. 施工期间的基坑监测数据[13]

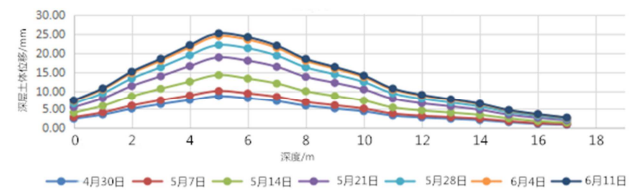


图13 深层土体水平位移监测。

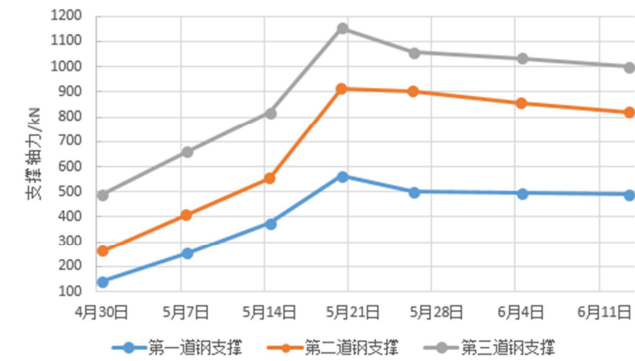


图14 支撑轴力监测。

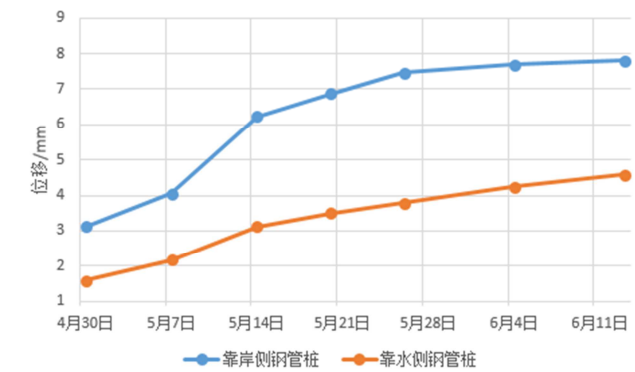


图15 钢管桩水平位移监测。

由基坑监测数据可知，整个围堰在开挖施工阶段数据比较稳定，未发生数据突变、报警等情况，围堰施工阶段整体比较安全，保证了水下桥墩承台的顺利施工完成以及施工班组人员的安全，目前整个项目已经竣工，建成后的



图16 人行桥梁竣工图。



图17 人行桥梁竣工图。

5. 结语

以杭州富阳某人行天桥修建水下桥墩为依托，设计采用钢管桩围堰及其遇到的问题分析，得出以下结论：

- 1. 由剖面分析可知，围堰靠岸侧卸土前三道钢支撑水平力均大于靠水侧，极易发生围堰整体向河内倾斜的风险。
- 2. 针对围堰可能向河一侧倾斜的问题，设计首先采用围堰外卸土，减小坑边土压力，其次，采用搭建上承式支撑钢栈桥，减小施工期间岸边荷载，以此来减小围堰倾斜的风险。
- 3. 通过对靠岸侧围堰坑外卸土后，由剖面分析及整体模拟分析可得，围堰钢支撑水平力和桩身弯矩明显减小，整体总位移、弯矩、轴力等均在规范要求的安全数值以内。
- 4. 本项目水下桥墩支护设计采用钢管桩围堰，合理可行，整个工程顺利竣工，水下施工期间，基坑监测各项数据全部正常，未发生报警现象。可为类似工程提供相关设计思路和参考。

参考文献

[1] 李迎九.钢板桩围堰施工技术[J].桥梁建设, 2011, 41 (2): 76–79, 84。
[2] 张骏.桥梁深水基础钢板桩围堰受力分析与应用[J].桥梁建设, 2012, 42 (5): 74–81。
[3] 李昌荣.某桥梁钢板桩围堰计算[J].低温建筑技术, 2011 (8): 92–94。
[4] 催春义,黄建,孙占琦,等.不同水位下钢板桩围堰工作性状有限元分析[J].广西大学学报, 2010, 35 (1): 187–192。
[5] 曾庆敦,姚双龙.钢板桩围堰及支撑系统的稳定安全性分析[J].中外公路, 2009, 29 (6): 174–177。
[6] 蔡忠泽.顺德水道特大桥深水钢板桩围堰设计与施工[J].铁道标准设计, 2011 (10): 65–68。
[7] 刘跃武.拉森钢板桩围堰在海河春意桥水中墩施工中的应用[J].桥梁建设, 2012, 42 (增刊1): 112–115。

- [8] 陈长明.强涌潮地区拉森VI型钢板桩围堰施工计算[J].桥梁建设, 2009 (5): 49-52。
- [9] 汤劲松,熊保林.深水基础大规模超长钢板桩围堰施工过程安全性分析[J].中国铁道科学, 2013, 34 (3): 32-39。
- [10] 赵建钢,高辉,施骏.水下深基础锁扣钢管桩围堰的设计及施工关键技术[J].建筑施工, 2021, 43 (1): 3。
- [11] 李开心,徐猛.深埋式承台锁扣钢管桩围堰设计及施工技术[J].珠江水运, 2019 (15): 3。
- [12] 程兵,向文凤.锁扣钢管桩基坑支护稳定性验算[J].工程与建设, 2010 (2): 2。
- [13] 潘泓,曹洪,尹一鸣.广州猎德大桥钢板桩围堰的设计与监测[J].岩石力学与工程学, 2009, 28 (11): 2242-2248。
- [14] 沈宝汉.深基坑工程技术讲座(17)[J].建筑技术开发, 1999, 26 (2): 47-51。
- [15] 阮泽莲,吴炜.厦漳跨海大桥II标主墩钢板桩围堰设计[J].水运工程, 2011 (8): 24-27。
- [16] 骆冠勇,曹洪,潘泓,等.新光大桥桥墩钢板桩围堰的优化设计与监测[J].华南理工大学学报(自然科学版), 2006, 34 (2): 124-129。