

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.06.030

深水基础的 PLC 桩围堰设计

柴世宗¹, 蓝海涛²

(1.武汉二航路桥特种工程有限责任公司,湖北 武汉 430071;2.中铁大桥局集团第四工程有限责任公司,江苏 南京 210000)

摘要: 围堰作为现代桥梁基坑施工中常见的临时围挡结构被广泛采用,对围堰进行设计研究是确保安全的必要程序。采用 PLC 桩围堰作为桥墩基础的挡水结构,既增强了锁口钢管桩的止水效果,又能节约钢材、降低施工成本。以海南某景观桥主墩施工时采用的 PLC 桩围堰为例,对深基坑中的 PLC 桩围堰进行分析。结合有限元计算方法及理论公式对设计方案进行分析,确保深基坑在施工当中结构的安全性和稳定性。

关键词: PLC 桩;围堰;深基坑;有限元分析;桥梁

中图分类号: U44

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)06-0110-05

0 引言

随着我国基础建设的飞速发展,众多跨江、跨河、跨海大桥应运而生,桥梁建造也面临着重重困难。如深水基础施工、防腐养护等。目前解决深水基础施工难题的方法主要是双壁钢围堰、单臂钢围堰、钢吊箱围堰及钢管桩围堰等。双臂钢围堰拥有刚度大、止水效果好、工期短等诸多优点,但其用钢量大,制作工艺复杂,施工过程繁琐、下放、定位难度较大。钢吊箱围堰^[1]加工难度大、用钢量大,施工难度高,且主要用于解决深水高桩承台施工。钢管桩围堰在国内大型桥梁承台施工中较早被采用,是因其具有在水深、近岸、埋深等特定条件下施工的特点。采用钢管桩围堰作为深水、大面积深基坑的支护结构是经济可靠的^[2-7],但锁口质量不易保证,在深基坑中使用时止水性能差。PLC 桩作为一种新的支护方式,具有施工简便、结构灵活、截面刚度大、施工速度快、止水性好、回收利用率高等特点。采用钢板与钢管组合的方式提高了止水性能,很好的解决了锁口钢管桩止水性能差的问题。

1 工程概况

该人行景观桥采用双层桥面布置,其中主桥(下层桥)跨径布置采用(2×16 m+16.44 m)钢筋混凝土现浇板+(77.56 m+71.525 m)V 墩刚构+(2×23.975 m)V 墩刚构+(71.525 m+76.06 m)V 墩刚构+(16.44 m+2×16 m)钢筋混凝土现浇板,辅桥(上层

桥)跨径布置为(16.54 m)钢筋混凝土现浇板+(74.46 m+78.95 m)V 墩刚构+28.1 m 排架钢构+(78.95 m+78 m)V 墩刚构+(30 m)简支钢箱梁+(5×16 m)钢筋混凝土现浇板。上层桥为人行桥,下层桥行人兼非机动车通行。上部结构除中心平台采用现浇预应力混凝土构造外,其余采用钢箱梁构造,引桥采用钢筋混凝土空心板。主桥(下层桥)全长 444.5 m,辅桥(上层桥)全长 466.5 m。该桥主墩最大水深 10.1 m;主墩基础采用 9 根直径 2.0 m 钻孔桩;承台为矩形结构,平面尺寸为 10.9 m×12.9 m,顶高程 -7.24 m,厚 3.5 m。主桥立面布置见图 1。

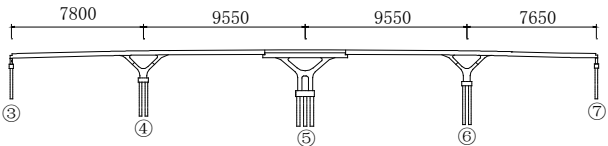


图 1 主桥立面布置图(单位:cm)

2 设计条件

2.1 地质条件

桥位地貌类型为河流 I 级阶地,河床上部为冲积层,下部为花岗岩残积层。河床地形较平缓,河流两侧阶梯经人工填筑,有石砌护坡,现地势较高。主墩承台顶标高为 -7.24 m,底标高为 -10.74 m,墩位处泥面线高程约为 -6.61 m。钻孔资料显示,地层从上到下依次为约 0.84 m 厚的淤泥,约 16.6 m 厚的黏土,约 8.82 m 厚的砾砂,约 9.6 m 厚的强风化花岗岩。地勘土体参数见表 1。

2.2 水文条件

桥址处 20 a 一遇洪水位 5.22 m,通过对近十年(2011 年~2021 年)墩位处水位情况的调查分析,每

收稿日期: 2023-01-11

作者简介:柴世宗(1992—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

表 1 地勘土体参数表

编号	地层	压缩模量 /MPa	地基承载力特征值	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	c/kPa	$\phi/(\circ)$
1	素填土	4	—	17.5	10	15
2	淤泥	2.69	50	16.3	4.9	2.4
3	粉砂	5.0	120	19.5	5	23
4	砾砂	7.0	160	20	3	28
5	黏土	4.96	120	18.3	23.6	11.9
51	中砂	6.0	140	19.5	10	20
6	砾砂	7.0	170	20.0	3	28
7	黏性土	5.34	160	18.9	27.9	15.5
8	强风化花岗岩		350	23		
9	中风化花岗岩		5 000	26		

年八月至次年四月水位基本维持在 +2.5 m 至 3.5 m。最大流速为 2.0 m/s。

3 围堰结构设计

主墩承台规模大、埋深深,施工时支护结构需承受 16.74 m 的水压力以及 6.63 m 的土压力。工期紧、施工荷载大是该支护结构设计的两大难题。考虑到钢套筒围堰加工复杂、施工周期长、可重复使用率低、下放及定位难度较大等。如果采用钢管桩,会因锁口与钢管桩刚度及变形不协调导致在施打过程中遇强风化花岗岩层会不同程度出现锁口撕裂的现象。从而影响围堰的止水效果。若采用钢管桩与钢板桩组合的形式将很好的解决这一问题。

4 围堰计算

4.1 围堰布置

为满足承台施工要求,将围堰尺寸设计为长 15.6 m、宽 13.7 m、高 3.5 m 的矩形截面。PLC 桩围堰采用 $\Phi 630\times 14$ 钢管、IV 型拉森钢板桩、双拼工 50C 型钢围檩及 $\Phi 609\times 16$ 钢管内支撑 PLC 桩构造见图 2。围堰平立面布置见图 3、图 4。钢管桩采用 5 层内支撑,顶、中底层内支撑高程分别为 3.0 m、0.0 m、-6 m、-8.5 m。封底混凝土厚度 2.5 m,基坑底部开挖至 -13.24 m,承台分两次施工,第一层高度为 1.5 m,第二层高度为 2.0 m。

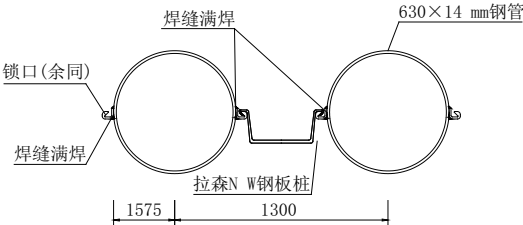


图 2 PLC 桩构造(单位:mm)

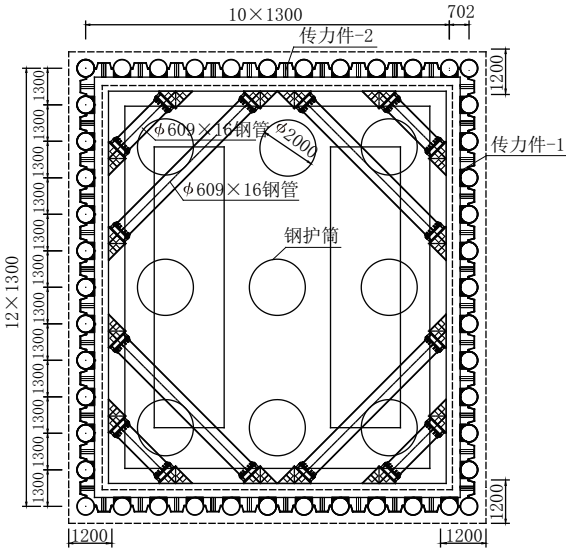


图 3 围堰平面布置图(单位:mm)

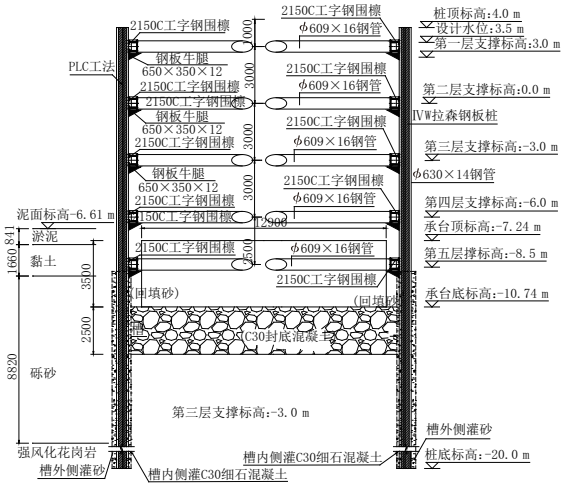


图 4 围堰立面布置图(单位:mm)

4.2 计算工况及荷载取值

钢围堰结构应对其安装、使用、拆除等过程存在以下施工工况:

工况 1:旋挖引孔,引孔后护筒内回填粘土,施打钢板桩与钢管桩至合拢后气举反循环清孔、吸泥,槽内侧灌 C30 细石混凝土;

工况 2:抽水至第一道支撑以下 1 m;

工况 3:安装第一道内支撑与围檩;

工况 4:开挖至坑底,浇筑 C30 水下封底混凝土 2.5 m;

工况 5:抽水至第二道支撑以下 1 m;

工况 6:安装第二道内支撑与围檩;

工况 7:抽水至第三道支撑以下 1 m;

工况 8:安装第三道内支撑与围檩;

工况 9:抽水至第四道支撑以下 1 m;

工况 10:安装第四道内支撑与围檩;

工况 11:抽水至第五道内支撑以下 1 m;

工况 12:安装第五道内支撑与围檩;

工况 13:抽水至封底混凝土顶面(承台底面);

工况 14:浇筑承台混凝土 1.5 m 高至标高 -9.24 m,回填砂至已浇筑承台顶以下 0.2 m;

工况 15:拆除第五道内支撑与围檩;

工况 16:浇筑承台混凝土 2 m 高至标高 -7.24 m;

工况 17:围堰内灌砂至标高 -7.11 m;

工况 18:拆除第四道内支撑与围檩;

工况 19:浇筑墩身混凝土 3.5 m 至标高 -3.74 m;

工况 20:围堰内灌水至标高 -4.74 m;

工况 21:拆除第三道内支撑与围檩;

工况 22:浇筑墩身混凝土 3.0 m 至标高 -0.74 m;

工况 23:围堰内灌水至标高 -1.74 m;

工况 24:拆除第二道与第一道的长内支撑;

工况 25:浇筑墩身混凝土 4.5 m 至标高 3.76 m;

工况 26:拆除第二道短内支撑与围檩;

工况 27:围堰内灌水至标高 2.0 m;

工况 28:拆除第一道短内支撑与围檩;

工况 29:拔除钢管桩与钢板。

按施工工况得出的控制 PLC 桩设计的不利工况为:

- 工况 1:抽水至第一道支撑以下 1 m;
- 工况 2:抽水至第二道支撑以下 1 m;
- 工况 3:抽水至第三道支撑以下 1 m;
- 工况 4:抽水至第四道支撑以下 1 m;
- 工况 5:抽水至第五道支撑以下 1 m;
- 工况 6:抽水至封底混凝土顶面;
- 工况 7:拆除第五道支撑与围檩;
- 工况 8:灌砂至标高 -7.11 m, 拆除第四道支撑与围檩;
- 工况 9:灌水至标高 -4.74 m, 拆除第三道支撑与围檩;
- 工况 10:灌水至标高 -1.74 m, 拆除第二道与第一道长内支撑;
- 工况 11:拆除第二道短内支撑与围檩;
- 工况 12:灌水至标高 2 m, 拆除第一道短内支撑与围檩。

根据上述施工步骤和对应的水文、地质条件,确定围堰计算工况及计算荷载,见表 1。

4.3 计算结果

4.3.1 PLC 桩稳定性验算

采用启明星进行整体稳定性与抗倾覆验算,见图 5。土层参数见表 2。

PLC 工法桩入土深度的计算控制工况出现在计

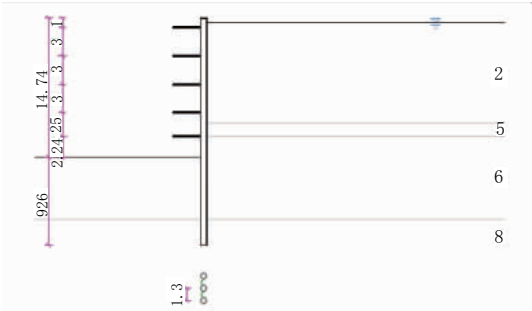


图 5 启明星计算模型

表 2 土层参数表

编号	岩土分类	厚度 / m	分算 合算	重度 / (kN · m ⁻³)	C/kPa	Φ / (°)	M / (MPa · m ⁻²)
2	淤泥	10.6	合	16.3	0	0	
5	黏土	1.37	合	18.2	26.3	13.5	4
6	粉砂	8.81	分	20	3	28	13.18
8	强风化岩	7	合	23	0.6	38	14

算工况 6,整体稳定性系数为 2.45>1.35。基坑抗倾覆系数为 2.52>1.25, 基坑抗隆起系数计算结果为 2.68>2.2,墙底抗隆起系数为 21.76>1.8。均满足规范要求^[8]。

4.3.2 围堰抗浮

围堰抗浮按水位 +3.5 m 计算, 所受向上的浮力为 23 538.1 kN,围堰抗浮荷载主要来自于封底混凝土自重力,不计 PLC 工法桩与封底混凝土之间的黏结力,封底混凝土与钢护筒之间的黏结力为 21 195 kN。则围堰抗浮安全系数 $K=1.25>1.15$, 满足规范要求^[8]。

4.3.3 围堰结构受力

采用有限元计算软件 MIDAS 建立 PLC 桩围堰模型^[9],其中钢管桩、拉森钢板桩及钢管内支撑均采用梁单元进行模拟, 围堰内侧土体对钢管桩的作用采用 m 值法换算成弹性约束加在相应位置^[10],有限元模型见图 6 所示、某工况围堰静水压力见图 7、围堰外土压力见图 8。围堰计算荷载及工况见表 3。

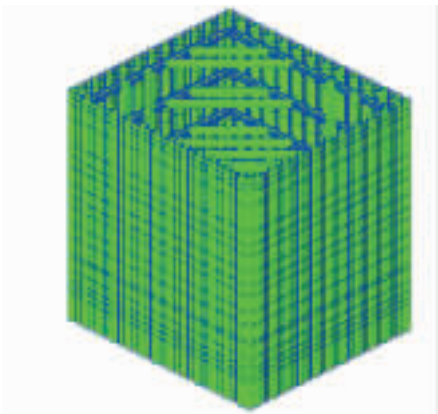


图 6 模型图

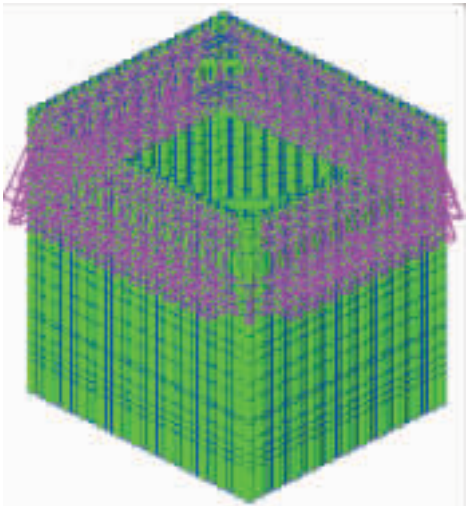


图 7 某工况围堰静水压力图

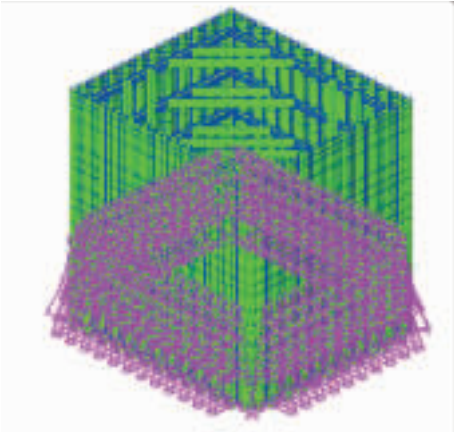


图 8 围堰外土压力图

表 3 围堰计算工况及荷载

工况	工况描述	外侧水位 /m	水头差 /m	外侧土高程 /m	内侧土高程 /m
1	抽水至第一道支撑以下 1 m	+3.5	1.5	-6.61	-6.61
2	抽水至第二道支撑以下 1 m	+3.5	4.5	-6.61	-13.24
3	抽水至第三道支撑以下 1 m	+3.5	7.5	-6.61	-13.24
4	抽水至第四道支撑以下 1 m	+3.5	10.5	-6.61	-13.24
5	抽水至第五道支撑以下 1 m	+3.5	13	-6.61	-13.24
6	抽水至封底混凝土顶面	+3.5	14.24	-6.61	-13.24
7	拆除第五道支撑与围檩	+3.5	14.24	-6.61	-13.24
8	灌砂至标高 -7.11 m, 拆除第四道支撑与围檩	+3.5	11.74	-6.61	-13.24
9	灌水至标高 -4.74 m, 拆除第三道支撑与围檩	+3.5	8.24	-6.61	-13.24
10	灌水至标高 -1.74 m, 拆除第二道与第一道短内支撑	+3.5	5.24	-6.61	-13.24
11	拆除第二道短内支撑与围檩	+3.5	5.24	-6.61	-13.24
12	灌水至标高 2 m, 拆除第一道短内支撑与围檩	+3.5	1.5	-6.61	-13.24

根据上述工况及施工荷载对围堰受力进行分析,最不利工况为第 8 工况,有限元计算结果应力云图见图 9~图 11。

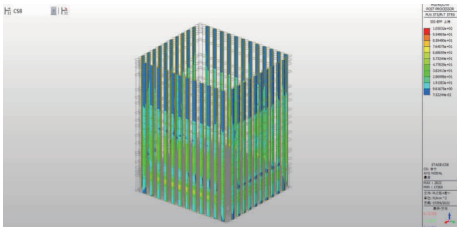


图 9 工况 8 灌砂至标高 -7.11 m, 拆除第四道支撑与围檩时钢板桩应力云图(单位:MPa)

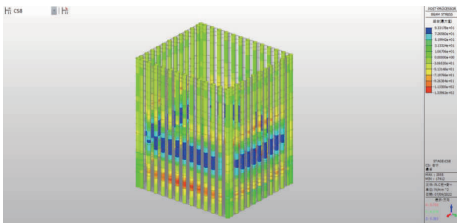


图 10 工况 8 灌砂至标高 -7.11 m, 拆除第四道支撑与围檩时钢管桩应力云图(单位:MPa)

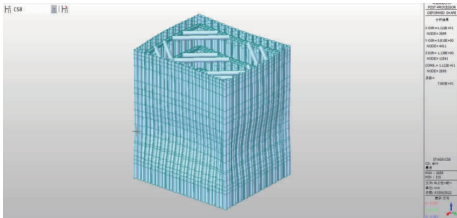


图 11 工况 8 灌砂至标高 -7.11 m, 拆除第四道支撑与围檩时变形图(单位:mm)

(1)PLC(板桩)整体最大应力为 105 MPa,PLC(管桩)整体最大应力值 134 MPa,钢围檩最大应力值为 211.6 MPa,钢支撑最大应力值为 87.6 MPa,均小于 305 MPa。变形最大值为 11.2 mm<42.5 mm。围堰各构件组合应力最大值及最大变形均出现在第 8 工况,且均满足规范要求。

(2)封底混凝土采用实体单元模拟,假设封底混凝土与钢护筒完全粘结,两者共节点,计算中约束混凝土四周法向位移,约束围堰底面节点的竖向位移。最不利工况下(工况 8)的第一主应力最大值约为 1.44 MPa,C30 混凝土抗拉强度 2.01 MPa。混凝土第一主应力未超出 C30 混凝土抗拉强度设计值。

5 施工关键技术及重难点

5.1 施工关键技术

主墩 PLC 桩围堰采用先桩基后围堰的施工方法,施工工艺为:刻槽施工→PLC 桩施打→气举反循环法吹砂施工→导管法浇筑封底混凝土→基坑开挖。

5.2 施工重难点

PLC 桩围堰在施工时涉及多道施工程序如:刻槽、PLC 桩施打、吹砂封底等。施工难度较大。

(1)墩身埋置深度大,水头差较大,PLC 桩强度及刚度要求高,同时对止水性能要求较高。(2)围堰刻槽施工难度大,钻机刻槽施工时需严格控制引孔垂直度,对成孔的质量要求高,尽最大限度的保证桩底锁口咬合效果,保证整个围堰止水效果。(3)PLC 桩对成桩线型要求高。(4)强风化花岗岩易遇水崩解软化,易冲刷。

6 结 论

海南某人行景观桥主墩承台施工时使用 PLC 桩围堰。

(1)采用钢板与钢管组合的方式提高了止水性能,很好地解决了锁口钢管桩止水性能差的问题。

(2)经过计算各工况下围堰的抗浮、结构应力及变形均满足规范要求。PLC 桩围堰结构合理,受力安全。

(3)主墩基础施工效果理想,说明 PLC 桩围堰适

用于深水基础施工。且具有施工简便、结构灵活、截面刚度大、施工速度快、止水性好、回收利用率高等特点。

参考文献:

- [1] 桂明.浅谈跨海大桥钢吊箱施工结构的计算[Z].
- [2] 王寅峰,吴杰良.武汉青山长江公路大桥南主墩锁扣钢管桩围堰设计[J].桥梁建设,2017(47):99-103.
- [3] 周述芳,孙飞.复杂地质条件下锁扣钢管桩深水围堰施工[J].铁道建筑技术,2012(10):66-69.
- [4] 郭文杰,方召欣.锁扣钢管桩围堰在复杂地质条件下桥梁深基坑支护的应用[J].交通标准化,2014,42(7):76-78.
- [5] 杨克龙.锁扣钢管桩围堰在桥梁基础施工中的工程实践[J].安徽建筑,2012(2):90-92.
- [6] 靳会武,周春华.泰州大桥南塔承台深基坑支护技术[J].中外公路,2009,29(6):198-201.
- [7] 朱晓明,李新彤.糊口大桥东塔基础锁扣钢管桩围堰施工方法介绍[J].公路,2002(7):71-72.
- [8] JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S].
- [9] 孙鸿飞,张飞.大西客运专线晋陕黄河特大桥主墩深水基础锁扣钢管桩围堰设计与检算[J].2011(S1):71-74.
- [10] 赵学峰,吴振宏.泰州大桥南塔承台锁扣钢管桩围堰设计与施工[J].现代交通技术,2013(10):45-48.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smcdi.com