

深水基础锁口钢管桩围堰内支撑整体下放施工技术研究

霍会岗

中铁二十四局集团浙江工程有限公司

摘要: 新建金华至建德高速铁路新安江特大桥主桥为矮塔斜拉桥,大桥3号主墩基础施工采用锁口钢管桩围堰,承台位于河床面以下,施工期水深高达25m,且墩位处地质为大角度倾斜岩层,围堰施工难度大,风险高。结合现场地质情况,锁口钢管桩围堰施工采用先支撑系统整体安装、后围堰内抽水的逆作法施工工艺。通过锁口钢管桩围堰施工过程中对锁口钢管桩插打、支撑系统整体下放、水下围檩抄垫进行控制,成功降低了施工难度,实现了水中墩承台墩身安全顺利施工的目标。

关键词: 锁口钢管桩; 深基础; 围堰; 支撑系统; 施工技术

【DOI】 10. 12254/j. issn. 2096-6539. 2024. 04. 063

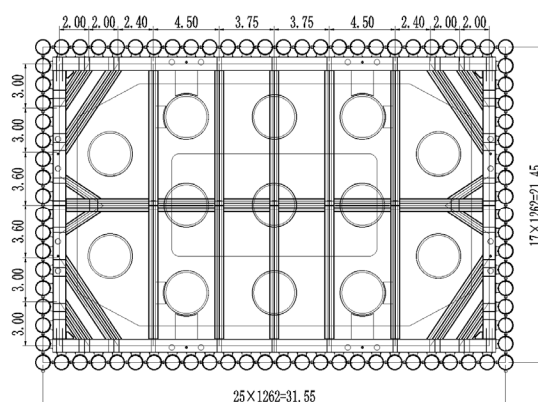
引言

随着我国高速公路、铁路的迅猛发展,大跨径桥梁越来越多,桥梁深水基础施工是桥梁施工中的一大难点,且随着基坑深度的不断增加,现场地质情况的日益复杂,各种围堰施工技术得到快速发展。杨永伟等^[1]阐述了双壁钢围堰施工技术在张花高速西水大桥中的应用,刘杨^[2]则研究了锁扣钢管桩围堰具有刚度大、加工简单、安装快速、可重复使用等优点。张翼^[3]以湖南省某高速公路特大桥钢管桩围堰为例分析了围堰—内支撑系统。本文在以往研究的基础上,对锁口钢管桩支撑系统的安装工艺进行了研究,保证围堰施工的安全。

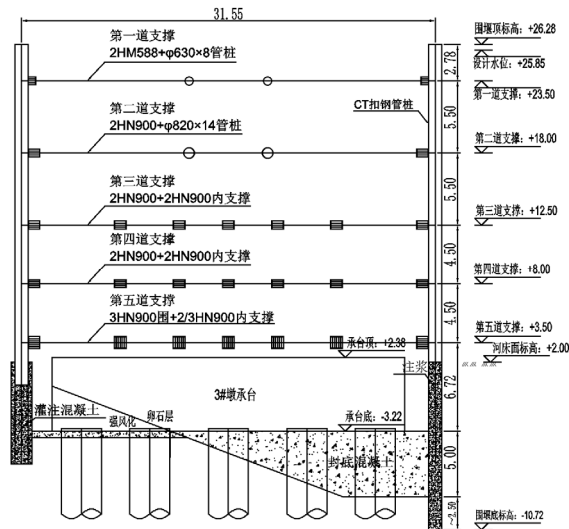
一、工程概述

新建金华至建德高速铁路新安江特大桥位于杭州市梅城镇,富春江—新安江国家级风景名胜区内。主桥采用(112+216+112)m矮塔斜拉桥跨越新安江。其中3号墩采用13根直径2.8m大直径钻孔桩基础,承台采用八边形承台,结构尺寸为26.9(长)x16.5(宽)x5.6m(高),承台顶高程+2.38m,底高程-3.22m。3号墩处水深25m,承台位于河床面以下,基坑深度31m。基坑范围内为大角度斜岩,覆盖层厚度从3m至12m不等,部分岩层侵入承台,施工采用锁口钢管桩围堰。

3号墩锁口钢管桩围堰采用直径1000X14mm钢管+直径219X10mm与工28b构成的CT扣组成,围堰平面尺寸长31.66m,宽20.95m,高度36.0m。围堰共设置五道支撑系统,支撑高程从下至上依次为+3.5m、+8.0m、+12.5m、+18.0m、+23.5m。第一道围堰采用2HM588X300型钢,内支撑采用Φ630X8mm钢管,Q235B材质;第二道围堰采用2HN900X300型钢,内支撑采用Φ820X14mm钢管,Q235B材质;第三、四道围堰采用2HN900X300型钢,内支撑采用2HN900X300型钢,Q235B材质,第五道围堰采用3HN900X300型钢,内支撑采用2HN900X300(直撑)和3HN900X300(斜撑)型钢,Q235B材质。锁口钢管桩围堰产生的反力作用弧形托盘上,传力给围堰及内支撑,整个系统建立平衡。



a 平面总体布置



b 立面总体布置

图1 3号墩围堰(单位:m)

二、锁口钢管桩施工控制关键技术

锁口钢管桩围堰多层内支撑施工对于维持钢围堰的整体稳定至关重要,因此就必须保证其自身构造的相对稳定,下面对锁口钢管桩施工控制关键技术进行分析。

(一) 施工工艺流程

测量放样→围堰铣槽→插打锁口钢管桩→围堰合龙→围堰槽内止水帷幕→锁口止水→护筒接高→支撑系统平台及下放系统安装→支撑系统逐层下放→水下抄垫→抽水→混凝土填充→基坑开挖→承台施工→体系转换→围堰拆除

(二) 插打钢管桩

在钢管正式插打前,技术人员对开槽范围槽内高程按照1m一个点进行全部复核,确认槽内高程符合设计要求后,开始插打钢管桩。在施工中加强测量工作,发现倾斜,及时调整,使每组桩在顺围堰周边方向及其垂直方向的倾斜度均不大于5%。如锁口钢管桩的垂直度控制较容易满足要求,可以一次将桩打到设计深度,当直接插打垂直度不满足要求时,要分两次进行施打,即先

利用自重将单桩插到槽里并调正，几根桩为一组相互之间形成咬合后，组内所有桩均满足要求后再二次插打到位^[4]。实现分组安装、整体定位、相互校正。钢管桩围堰合龙前，提前测量合拢口前几组桩的站位宽度，预测偏差，如果存在合拢偏差时，将合拢口两边各几组锁口钢管桩不插到河床，在悬挂状态下进行调整。在无法顺利合龙时，则根据合龙口的实际尺寸制造异形合龙。

(三) 内支撑拼装及下放平台

根据设计，围堰周边8根桩护筒在桩基施工完成后需进行接高处理，接高高度以高出栈桥面为准，满足顶部作为下放系统平台，水面位置作为内支撑框架的拼装平台。在钻孔桩完成后，由潜水员对中间5根护筒进行水下切除，利用切除的护筒对周边8根护筒进行接高，接高之前根据图纸下支撑梁和上支撑梁高程位置进行提前开洞和补强焊接工作。接高时由履带式起重机吊起钢护筒，下口与已有护筒限位木板对接整齐，采用坡口焊进行对接连接，并加设加劲连接板，加劲连接板每块尺寸20x30cm，一圈设8块加劲板。在护筒提前开口位置逐根安装上下支撑梁，支撑梁靠近开槽侧待旋挖机开槽结束后再移至相应位置。为确保上下支撑梁安装时作业人员的安全，提前在护筒顶部十字撑上焊接与护筒内尺寸相一致的花纹钢板作为操作平台、吊装环作为作业人员安全带的挂设点。

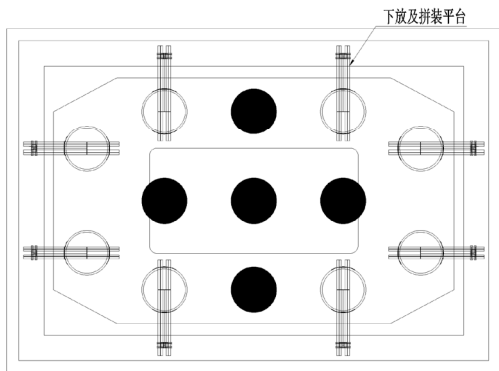


图2 内支撑下放及拼装平台

(四) 支撑系统拼装

下支撑梁的高程接近施工期的常水位，作业人员利用倒链葫芦将下支撑梁逐根移至设置位置，并再次确认护筒加固措施已实施完成，同时对支撑梁进行微调，使其处于水平状态。将在后场已经对接接长的第五道围檩（3HN900*300型钢），按照围堰每一侧一根，利用两台吊机抬吊的方式逐根安装在下支撑梁上，并且四个角点进行坐标复核并焊接连接，然后进行角撑和对撑的焊接，使第五道围檩形成整体。单根围檩最重为22t，采用一台100t履带式起重机和一台35t汽车吊进行抬吊，其他支撑材料均采用履带式起重机吊装，并对吊物拉设牵引索，控制吊装过程中的稳定性。围堰圈梁拼装成整体后，其整体外形平面尺寸误差应控制在-10mm~+10mm内^[5]。现场应采取措施保证在误差计算分析的范围。围檩与围堰、内支撑与围檩之间交接点处焊接时，必须注意焊接顺序，保证翼缘、腹板均分别能对接连续焊。支撑系统拼装完成、验收合格后进行整体下放。

(五) 支撑下放

整个吊挂下放系统由8套设备组成，分别设置在围

堰周边8根接高的钢护筒上，吊挂下放系统由穿心千斤顶、吊杆、垫梁等组成。下放吊杆采用直径36mm的精轧螺纹钢，材质要求 $\sigma \geq 835\text{MPa}$ ，每个下放点设置2根，接头错开3m，下放过程交错使用。将吊杆穿过千斤顶和围檩上的预留孔，上支撑梁和穿过型钢处均用专用螺帽进行锁定。利用8台千斤顶同步起吊围檩10cm，静置10min，确定吊挂系统稳定后，后退下支撑梁和拆除临时托架，利用千斤顶进行同步下放，将第五道围檩下放至设计高程进行固定，下放到位的内支撑体系采用14根直径32mm的螺纹钢进行临时吊挂，吊挂点设置在两根钢管桩之间，避免下道内支撑体系下放时受阻。潜水员水下拆除吊杆，重新焊接托架拼装、下放第四道、第三道、第二道支撑，直至将四层内支撑系统全部下放至设计高程。

具体下放操作步骤为：（1）上层精轧螺纹钢螺母拧紧，8台千斤顶同步起顶10cm，将下层精轧螺纹钢螺母拧紧，千斤顶落顶。静置10min，检验下放系统安全性，确认无误后，后退下支撑梁和拆除临时托架。（2）将上层精轧螺纹钢螺母向下拧紧，千斤顶起顶10cm，下层螺母与分配梁脱开，将下层螺母向下拧紧，千斤顶落顶。（3）重复步骤（2）直至将支撑下放到位。

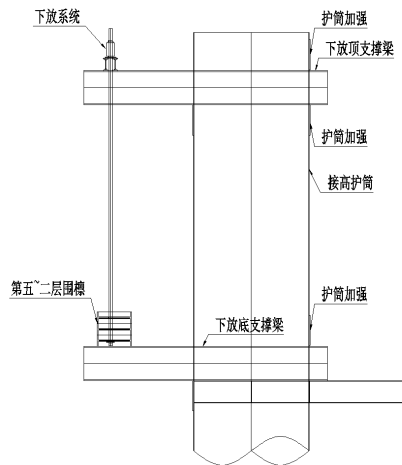


图3 下放系统

(六) 水下抄垫

围堰内支撑整体拼装下放到设计高程后，采用弧形托盘对钢管桩与围檩之间的间隙进行抄垫。潜水员水下对钢管桩与围檩之间的间隙进行逐个测量，根据实际测量尺寸进行弧形托盘加工并编号，弧形托盘高度与每层围檩高度一致，托盘钢管桩侧加工成与钢管桩一致的半弧形，托盘围檩侧设置挂钩，由潜水员按照编号悬挂在围檩与钢管桩之间空隙，使钢管桩与围檩内支撑成一个整体，减少围堰在抽水过程中的整体变形和局部应力集中，确保围堰和钢管桩直接充分受力^[7]。

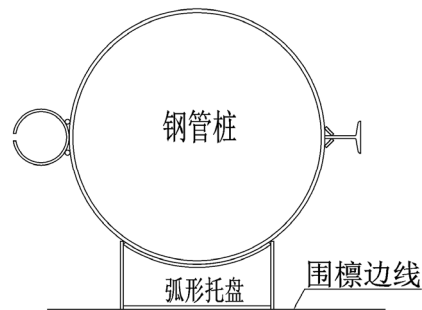


图4 弧形托盘

(七) 混凝土填充

在围堰抽水的过程中，如发现围堰与钢管桩之间有空隙部位，及时用小钢板根据现场实际尺寸进行下料抄垫，抽水至第二、三、四、五层围堰下100cm，暂停抽水，采用方木+竹胶板模板支撑，将围堰与钢管桩之间的三角区采用混凝土填充，使钢管桩与内支撑间全面接触，进一步有效增加钢管桩的承压面积，提高钢管桩局部承载能力，确保了围堰的安全。

三、锁口钢管桩围堰钢管桩受力分析

(一) 工况分析

工况一：插打钢管桩合龙后抽水，检算围堰及围堰支撑结构；

工况二：围堰内取石浇筑垫层，检算围堰及围堰支撑结构。

工况三：整体误差分析（考虑弧形托盘与钢管桩之间10mm误差）。

(二) 结构检算

采用Midas/civil软件，建立钢管桩围堰单杆施工阶段模型，结构为梁单元建立。模型如下图所示。

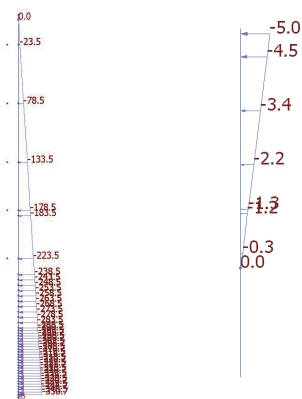


图5 梁单元计算模型图（单位：kN/m）（水压力、水流力）
(1) 最不利工况（工况二）：

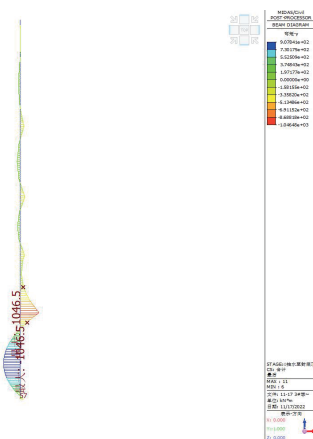


图6 钢管桩弯矩图（单位：KN·m）
根据计算，最大弯矩 $M=1046.5KN \cdot m$ ，则应力

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1.1 \times 1.25 \times 1046.5}{8437.23} \times 10^3 = 170.54Mpa < 205Mpa$$

满足要求。

(2) 整体误差分析（工况三）：

整体误差分析，主要是考虑围堰拼装误差产生的强迫位移、水流力、水压力（最不利）对单桩的结构强度

的组合效应，即分别考虑其中一道内支撑水平方向突出（或凹进）10mm，分五种工况单桩结构受力情况进行分析。适当考虑托盘的梁端刚域范围。



图7 钢管桩弯矩图（单位：KN·m）

根据计算，最大弯矩 $M=1169.4KN \cdot m$ ，则应力

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1.1 \times 1.25 \times 1169.4}{8437.23} \times 10^3 = 190.575Mpa < 205Mpa$$

满足要求。

从钢管桩受力分析可发现，内支撑提前施工，让围堰结构提前形成一个整体结构，围堰整个施工过程中钢管桩受力更加均衡，围堰整体稳定性、结构受力更加安全。

结语

锁口钢管桩围堰作为水中承台深基坑开挖支护常用的一种结构形式，其综合了钢板桩围堰和双壁钢围堰挡水、围护特性，截面强度及刚度大且为单根钢管插打，施工较为灵活，在桥梁工程建设中的应用极为广泛。新安江特大桥3号墩围堰从锁口钢管桩支撑系统提前安装方面研究，支撑结构在水面以上平台拼装、整体下放，解决了抽水过程中钢管桩受力变形和局部应力集中、深水基坑狭小空间内吊装作业问题。通过本桥的成功实施，可为同类工程施工提供借鉴。希望能在与同类工程施工企业进行施工技术交流的同时，促进锁口钢管桩围堰施工技术工艺应用效果优化。

参考文献

[1] 杨永伟, 戴桂华, 徐阳, 等. 张花高速西水大桥5号主墩深水双壁钢围堰施工技术[J]. 公路工程, 2013, 38(05): 193-198.
 [2] 刘杨. 深水基础钢板桩围堰施工[J]. 中国铁路, 2016(07): 60-62.
 [3] 张翼. 特大桥桥墩钢管桩围堰方案有限元对比分析[J]. 公路工程, 2017, 42(05): 242-246.
 [4] 田小路, 汪健. 深水裸岩条件下锁口钢管桩围堰施工技术研究[J]. 建筑机械化, 2022, 43(5): 35-38+60.
 [5] 孙龙隆. 桥梁水中承台锁口钢管桩围堰施工质量控制要点[J]. 精品, 2018(7): 1.
 [6] 王军. 大跨度高低塔斜拉桥施工技术研究[D]. 兰州交通大学, 2019.
 [7] 熊饶林, 黄谦. 深水基础锁口式钢管围堰施工与现场安全监控技术[J]. 交通世界, 2022(26): 141-143.

作者简介：霍会岗（1987年11月），性别：男，民族：汉，籍贯：河北省平山县，学历：大学本科，职称：工程师，研究方向：桥梁工程。