

广佛肇高速公路北江大桥基础施工关键技术

尚庆果¹,何明辉²

(1.中铁大桥局第九工程有限公司,广东 中山 528400; 2.中铁大桥局集团有限公司,湖北 武汉 430050)

摘要:北江大桥33#墩采用钻孔灌注桩和分离式承台,承台位于风化泥岩范围内,且墩位处水位较深,流速较大,基础施工技术难度大。经研究,确定采用了“钻孔平台+钢板桩围堰”的施工方法。钢板桩围堰施工采用了旋挖钻机引孔及水下高压注浆的施工关键技术,并且承台范围内基岩开挖采用预开挖及围堰干挖法取土的施工方式,解决了无覆盖层且嵌岩的低桩承台施工难题。

关键词:北江大桥;钻孔平台;围堰;铣槽;高压注浆;干挖;施工技术

中图分类号: TU753

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)06-0188-03

0 引言

随着我国桥梁技术的发展,采用特大桥跨越江河湖海趋势越来越明显。在深水桥梁施工中,难度最大的是水下基础施工,桥位处的水深、水流、地质、承台位置等情况直接影响着基础施工方案的选择。水下基础施工普遍采用栈桥、钻孔平台和钢板桩围堰作为临时设施。栈桥提供施工人员、材料和机械设备的运输通道,钻孔平台用于桩基础施工,桩基施工完成后采用围堰法施工承台。

在水下基础施工中,围堰施工技术最为复杂^[1]。大部分桥梁水中基础位置处存在较厚覆盖层,可采用钢板桩围堰、钢管桩围堰、钢套箱围堰法进行施工;桥梁水中墩处无覆盖层或浅覆盖层的基础,一般设计为高桩承台,采用套箱围堰或吊箱围堰进行施工。但部分无覆盖层的桥梁因特殊要求,承台需埋入河床下基岩内,在此条件下如何安全、经济、高效完成水中钢板桩围堰施工存在极大难度,具有重要的研究意义。

1 工程概况

广佛肇高速公路北江大桥主桥为(115+215+115)m连续刚构,上下行分幅布置,箱梁顶面设0~2%横坡,箱底水平,主桥33#、34#主墩采用双薄壁墩,单肢截面尺寸2m×8.15m,双肢间中心距6m,主桥布置如图1所示。

北江大桥主桥跨越北江,北江常水位为+2.5m,

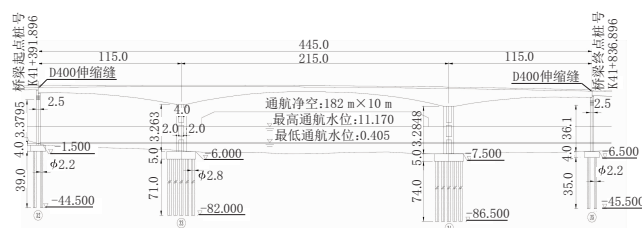


图1 北江大桥主桥布置(单位:m)

汛期洪水较大,水文条件复杂,汛期水位高达+9.0m。根据超前地质钻及管波探测结果揭示,33#墩墩位处河床平均高程为-5.7m,河床无覆盖层,河床自上而下分别为强风化泥岩、中风化泥岩或中风化砂质泥岩,承台埋置于河床基岩内,距北江常水位13.5m,承台及承台以下范围岩溶、裂隙发育。

北江大桥33#墩基础采用钻孔灌注桩和分离式承台,桩基布置为7根直径2.8m的钻孔灌注桩,桩间净距4.2m,梅花型布置;33#墩承台顶面标高为-6.0m,承台为圆端形,横桥向宽14.9m,顺桥向宽23.3m,承台厚5m,如下图2所示。

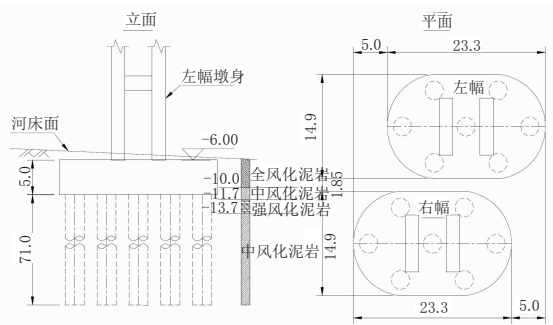


图2 33#墩基础布置(单位:m)

2 总体施工方案及施工难点

2.1 总体施工方案

在深水桥梁施工中,桥位处的水深、水流、地质、

收稿日期: 2022-07-17

作者简介: 尚庆果(1981—),男,本科,高级工程师,从事桥梁施工管理。

承台位置等情况直接影响基础施工方案的选择。结合北江大桥 33# 墩水文地质条件,对承台施工方案进行综合研究分析,确定采用“先平台后围堰^[2]”的施工方法,即“钻孔平台+钢板桩围堰”法施工,将水上施工转为陆地施工,在主墩承台施工范围内搭设钻孔平台,通过水上栈桥与陆地连接;在钻孔平台上利用钻机施工钻孔桩基础,钻孔桩施工完成后拆除承台范围内平台,施工钢板桩围堰,在无水的条件下开挖承台范围内岩层,最后完成承台墩身施工。

2.2 施工难点

根据北江大桥 33# 墩地质水文条件,低桩承台钢板桩围堰施工存在以下难点:

(1)水下爆破施工成本高、爆破审批手续流程多,需水下清理爆破物,成本高,施工周期长且效率低;

(2)墩位到岸边地质为无覆盖层,水上栈桥及钻孔平台建立困难,且北江水流速度达 2.5 m/s,加大了施工难度,此外,33# 墩采用分幅式承台布置,钻孔桩采用梅花桩布置形式,钻孔平台布置难度大;

(3)钢板桩围堰采用静压植桩机法施工时,施工周期长,单价高,效率低,且对技术人员要求高,侧面反映了钢板桩围堰施工难度大;

(4)钢板桩围堰在无覆盖层深水条件下插打困难,应当采用旋挖钻机铣槽后进行插打,旋挖钻机在钻孔平台上铣槽走行路线规划困难,需对钻孔平台进行调整;

(5)33# 墩承台位于基岩内,常规抓斗机施工作业难度大,且无法完成强度较高的岩层开挖。

3 33# 墩施工关键技术

3.1 钻孔平台施工技术

为方便主墩桩基施工,且便于钢护筒插打、围堰施工、0# 块施工支架以及后期挂篮拼装,33# 墩钻孔平台采用栈桥+钻孔平台布置形式。为满足钻平台钢管桩的稳定,钻孔平台管桩采用打桩船施工,且采用型钢联结系将钻孔平台管桩、栈桥管桩相互连接,以增强平台稳定性。对于 33# 墩左右幅桩基施工,钻孔平台设置 A/B 区以便两幅桩基施工时互不干扰,钻孔平台 A 区平面尺寸 18.0×27.0 m, B 区平面尺寸为 21.0×27.0 m,满足桩基施工期间钻机及钻渣箱等相关施工设备的布置。

3.2 旋挖钻机铣槽技术

33# 墩承台高度范围位处岩层为全风化泥岩、中风化泥岩和强风化泥岩,钢板桩围堰施工可采用静

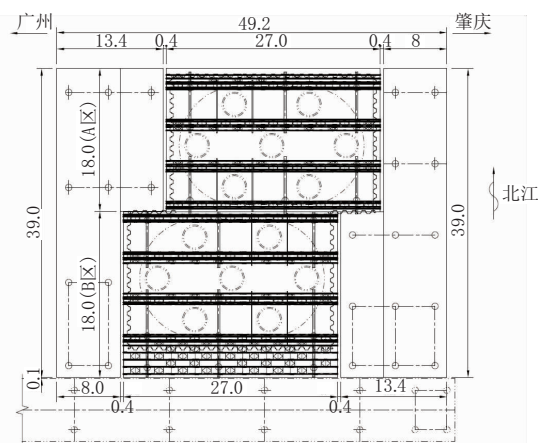


图 3 33# 墩钻孔平台布置(单位:m)

压植桩机进行施工,但该设备在施工环境复杂的工程中,对技术人员的能力要求高,且施工速度慢。针对地质条件复杂的工程,平均每天植入 2~3 根钢板桩,严重的制约了工期。为使得钢板桩插打到承台底下一定深度,采用钻孔桩施工设备——旋挖钻机进行引孔铣槽,旋挖钻机铣槽如图 4 所示。



图 4 钻挖钻机引孔施工

旋挖钻机铣槽能充分利用钻孔平台及栈桥结构,且不需要插打钢护筒,引孔长度约 160 m/d,提高了施工效率。旋挖钻机引孔时,采用隔孔钻的方式,保证钻孔过程中不出现基岩大块塌落,铣槽完成后在槽内回填碎石,最后采用常规的方法插打钢板桩,形成围堰结构。

3.3 连体钢板桩围堰施工技术

33# 墩为分离式承台,两承台间距 1.85 m,为满足施工需要并减少钢板桩施工数量,增加围堰内作业面积,33# 墩采用连体式错位型钢板桩围堰^[3]。钢板桩围堰采用 18 m 拉森 VI 型钢板桩,围堰设防水位 +3.0 m,钢板桩顶高程 +3.5 m,设置两层支撑,内支撑之间采用联结系连接,钢板桩围堰如图 5 所示。

为减小钢板桩围堰在抽水过程中的变形,33# 墩

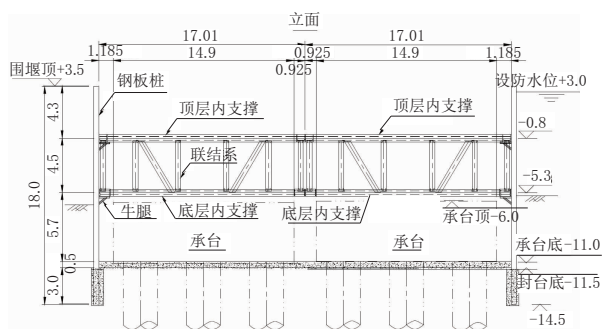


图5 钢板桩围堰布置(单位:m)

围堰采用先拼装内支撑后插打钢板桩的方法进行施工,该方法利用内支撑作为钢板桩插打导向平台,可将钢板桩与内支撑密贴。围堰内支撑采用整体拼装下放技术,利用钢护筒上托架作为内支撑拼装平台,分别将底层内支撑和顶层内支撑及联结系拼装完成。最后,在钢护筒上设置吊挂系统,将内支撑整体下放到设计位置。钢板桩围堰施工如图6所示。

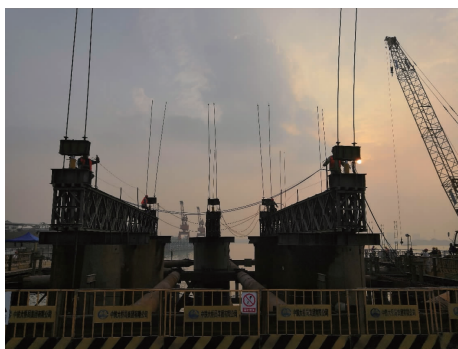


图6 钢板桩围堰施工

3.4 围堰止水技术

钢板桩插打完成后,为围堰内外水头差不同引起的铰槽底口透水,在围堰形成后,对铰槽范围的槽口采用压浆法进行封堵施工。采用地质勘探设备在钢板桩上的注浆作业平台上钻孔,在围堰内、外侧槽内均采用 $\phi 50 \times 3.5$ 压浆管按1.2m等间距进行注浆,压浆管底口距离槽底10cm,注浆压力0.8~1.0MPa。为保证压浆效果,压浆量按照铰槽设计压浆体积的1.2倍进行压浆,如图7所示。

3.5 基岩开挖技术

(1)基岩预开挖技术

为减少水下作业时间,减少水下施工安全风险,降低基岩开挖难度,充分利用钻孔平台结构,采用小型旋挖钻机在承台范围内对基岩进行预开挖,通过钻孔取土破坏基岩完整性,后期利于长臂液压抓斗、

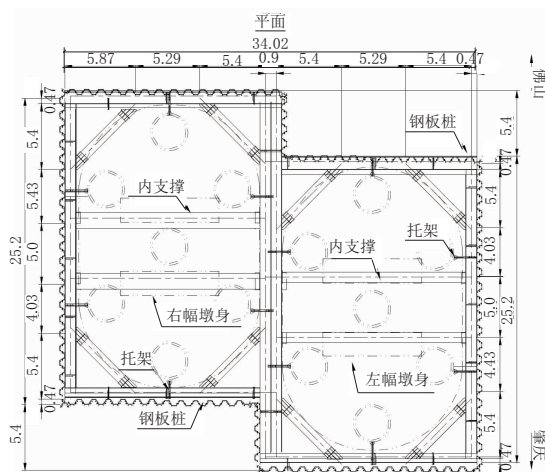


图7 钢板桩止水施工

挖掘机开挖清基。

(2)围堰内干挖技术

经旋挖钻预开挖后的基岩强度大幅度降低,且部分基岩已通过钻孔取土完成,承台范围内剩余的基岩采用干作业施工,以机械开挖为主的方法进行开挖。首先,围堰抽水完成后,利用普通中型挖掘机、液压抓斗先基坑中间,后向基坑四周扩展开挖,支撑边角处土体采用小型挖掘机+人工开挖。此外,在开挖过程中开挖面土体高差不大于1.0m,基坑开挖至基坑以上0.5m时,应控制开挖深度,避免超挖,最后,采用小型挖掘机对基坑进行整平,基坑开挖到位后,在基底四周开挖排水沟,通过集水坑集中排水。

6 结 语

北江大桥主桥33#墩采用钻孔灌注桩和分离式承台,承台位于风化泥岩范围内,且墩位处水位较深,流速较大,基础施工技术难度大。通过对33#墩基础施工方案的研究,确定采用了“水上施工转陆地施工+钢板桩围堰”的施工方法。钢板桩围堰施工采用了旋挖钻机引孔及水下高压注浆的施工关键技术,并且承台范围内基岩开挖采用了预开挖及干挖法取土的施工方式,解决了无覆盖层且嵌岩的低桩

(下转第246页)

表3 3种高级氧化技术方案比选

项目	非均相臭氧 催化氧化	均相臭氧 催化氧化	三相催化 氧化
占地面积 /m ²	4 000	4 000	6 000
工程投资 /万元	5 000	5 614	8 000
设备折旧费用 /(万元·d ⁻¹)	1.37	1.54	2.20
液氧投加费用 /(元·d ⁻¹)	23 040	19 200	0
催化剂更新费用 /(元·d ⁻¹)	5 700	986	5 000
硫酸投加费用 /(元·d ⁻¹)	0	0	7 350
硫酸亚铁费用 /(元·d ⁻¹)	0	0	1 200
双氧水费用 /(元·d ⁻¹)	0	0	6 000
液碱费用 /(元·d ⁻¹)	0	0	8 100
阴离子 PAM 费用 /(元·d ⁻¹)	0	0	3 360
湿污泥处置费用 /(元·d ⁻¹)	0	0	3 000
干化污泥处置费用 /(元·d ⁻¹)	0	0	1 175
电费 /(元·d ⁻¹)	15 360	22 758	6 507
电路负荷 /kW	1 000	1 482	688
合计运行成本 /(万元·d ⁻¹)	4.41	4.29	4.17
合计投资和运行成本 /(万元·d ⁻¹)	5.78	5.83	6.36
COD 去除率 /%	40.7	57.6	44.3
去除单位 COD 成本 / (元·kgCOD ⁻¹)	16.7	23.9	23.9

2 L/min、臭氧催化反应时间 30 min(处理系统的总 HRT 为 60 min)条件下,连续运行过程中实现了 57.6%±7.3%的 COD 去除率,去除单位 COD 的臭氧消耗量为 1.04 gO₃/gCOD±0.05 gO₃/gCOD,且系统未出现催化剂催化效率随时间下降等问题,稳定性较好,具备工程应用潜力。

(2)在与均相臭氧催化氧化技术和三相催化氧化技术的对比研究中发现,非均相臭氧催化氧化技术的 COD 去除效果最佳,平均 COD 去除率较均相臭氧催化氧化技术和三相催化氧化技术分别高

16.9%和 13.3%,且其占地面积、投资和运行成本等各方面也均占优,去除单位 COD 的投资和运行成本也仅为其他两项技术 70%左右,具有更高处理效能,适合用于难降解工业废水的处理。

参考文献:

[1] Garcia-Segura S, Ocon J D, Chong M N. Electrochemical oxidation remediation of real wastewater effluents: A review[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2018, 113: 48-67.

[2] Narayanan C M, Narayan V. Biological wastewater treatment and bioreactor design: a review[J]. Sustainable Environment Research, 2019, 29: 33.

[3] Karimi-Maleh H, Ayatic A, Davoodi R, et al. Recent advances in using of chitosan-based adsorbents for removal of pharmaceutical contaminants: A review[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 291: 125880.

[4] Bello M M, Raman A A A, Asghar A. A review on approaches for addressing the limitations of Fenton oxidation for recalcitrant wastewater treatment[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2019, 126: 119-140.

[5] 李敏,付丽亚,谭煜,等.臭氧催化氧化在工业废水处理中的应用进展[J].工业水处理,2022,42(1): 56-65.

[6] 徐昊,孙文全,孙永军,等.臭氧催化氧化法处理煤化工废水研究[J].水处理技术,2022,48(1): 122-125.

[7] Malik S N, Ghosh P C, Vaidya A N, et al. Hybrid ozonation process for industrial wastewater treatment: Principles and applications: A review[J]. Journal of Water Process Engineering, 2020, 35: 101193.

[8] 陈洋,巫先坤,杨峰,等.非均相催化臭氧氧化处理工业废水研究进展[J].山东化工,2020,49(22): 68,73.

[9] 刘翔,曹安伟.三相催化氧化工艺应用于工业园区污水深度处理[J].天津科技,2019,46(9): 55-56,59.

[10] Wang J L, Chen H. Catalytic ozonation for water and wastewater treatment: Recent advances and perspective[J]. Science of the Total Environment, 2020, 704: 135249.

[11] Chen H, Wang J L. Catalytic ozonation of sulfamethoxazole over Fe₃O₄/Co₃O₄ composites[J].Chemosphere, 2019, 234: 14-24.

(上接第 190 页)

承台施工难题。

参考文献:

[1] 严朝锋.南宁枢纽工程邕江特大桥岩石层深水基础施工技术[J].铁道建筑,2017(5):48-50.

[2] 石九州,任毅,叶亦盛,等.罗家湾大桥深水薄覆盖层主墩基础施工技术[J].施工技术,2017(30):118-119.

[3] 周新亚,刘昌箭,钱有伟.深水基础超长钢板桩围堰设计与施工关键技术[J].世界桥梁,2020(2): 20-24.

[4] 邓敬雄.挤压破碎倾斜板岩大直径深水钻孔桩施工技术[J].世界桥梁,2015,43(2): 21-24.

[5] 张延河.深水浅覆盖层区域钢围堰施工技术[J].世界桥梁,2019(2): 28-32.

[6] 申永利.裸岩河床水中墩基础施工技术[J].世界桥梁,2016(2):16-19.

[7] 李成全,李军堂.三峡库区某桥梁深水基础施工关键技术[J].交通科技,2019(3): 42-45.

[8] 姚发海.深水复杂地质倾斜岩面基础施工技术[J].铁道工程学报,2016(5):37-41.