

水上桩基施工平台技术研究

李小青, 朱传成

(华中科技大学土木工程与力学学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:深水桩基础施工是桥梁建造的重要环节, 而进行深水桩基础施工则必须先行搭建水上施工平台。因此进行科学合理的设计、采取正确可靠的施工工艺方法, 对保证水上施工平台在建造过程中以及建成后的营运安全非常重要。以南阳市宛坪高速公路重阳水库大桥钻孔灌注桩水上施工平台为研究背景, 运用 ANSYS 软件进行钢管桩支撑固定式水上施工平台力学行为分析, 研究水上桩基施工平台结构设计的合理性, 并且探讨平台结构的关键施工技术, 为类似工程提供有益参考。

关键词:水上桩基; 施工平台; 钢管桩; 深水域; 数值分析

中图分类号: U445.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2007)08-0031-06

Study on Technique of the Aquatic Construction Platform for Pile Foundation/LI Xiao-qing, ZHU Chuan-cheng
(School of Civil Eng. & Mechanics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: The construction of deepwater pile foundation is one of the important working procedures of bridge construction. It is necessary to build the fixed aquatic construction platform in order to construct the bored pile. So the construction platform must be scientifically designed and reasonably built, and it is very important to ensure the safety and stability of the platform in the whole course of building and working. Take the example of cast-in-place bored pile engineering for a large reservoir bridge, the mechanical behavior of the fixed aquatic construction platform braced by steel tube pile is analyzed with ANSYS software, the key technique is studied, and some conclusions are obtained that will be helpful to the similar engineering works.

Key words: aquatic pile foundation; construction platform; steel tube pile; deepwater area; numerical analysis

深水桩基础施工是桥梁建造的重要环节, 而进行深水桩基础施工则必须先行搭建水上施工平台。因此进行科学合理的设计、采取正确可靠的施工工艺方法, 对保证水上施工平台在建造过程中以及建成后的营运安全非常重要。

1 工程概况

拟建的南阳市宛坪高速公路重阳水库大桥桥址区所处地貌单元属于中低山区, 地势起伏较大, 中部地势较低, 为 U 字形沟谷, 现为水库, 水面宽约 500 m。水库最低库容水位 8.00 m, 流速为 2 m/s, 水位变化幅度约 8.00 m。设计桥面横跨水库, 桥长 658.90 m, 桥梁宽 2 × 16.50 m。上部结构采用跨径 50 m 预应力混凝土 T 型连续梁, 下部采用承台柱式桥墩基础, 桥位布置如图 1 所示。0 号和 13 号 U 形台下采用扩大基础。1 ~ 12 号墩下采用水下钻孔灌注桩基础, 共计 129 根, 其中 $\varnothing 1500$ mm 桩 120 根, $\varnothing 1800$ mm 桩 9 根, 桩长 50 m, 自由长度 24 m。4 ~

10 号墩的桩基施工处于深水之中, 水深 20 ~ 40 m, 需搭建水上施工平台。

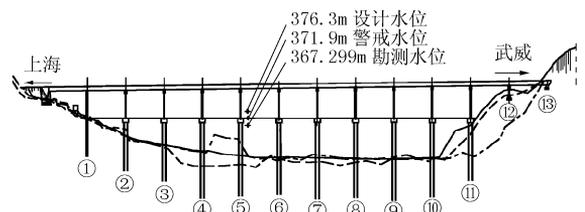


图 1 大桥桥位立面图

桥址河底地质条件为: ①淤泥, 含少量细砂, 湿, 流塑 ~ 软塑, 分布于水库中部, 厚度 0 ~ 2.10 m; ②卵石, 主要由石英岩块、圆砾及粘土组成, 分布于桥址中部, 厚度 0 ~ 4.90 m; ③强风化细砂岩, 红褐色, 细粒结构, 厚层状构造, 桥址区普遍分布, 厚度 2.50 ~ 5.10 m; ④弱风化细砂岩, 红褐色, 细粒结构, 厚层状构造, 桥址区普遍分布, 厚度 8.70 ~ 14.00 m; ⑤微风化细砂岩, 红褐色, 细粒结构, 厚层状构造, 桥址区普遍分布, 最大揭示厚度 11.60 m。

收稿日期: 2007-02-04

基金项目: 河南省交通厅科研项目(编号: 05-05)

作者简介: 李小青(1965-), 男(汉族), 湖北罗田人, 华中科技大学副教授, 探矿工程专业, 博士(后), 从事道路工程、岩土工程方面的教学与科研工作, 湖北省武汉市, (027)62418380, lixiaqing108@163.com。

2 钢管桩支撑式固定工作平台

深水工作平台常用形式有2种:一种是用船只拼装成浮动式水上平台;另一种是用贝雷桁架或万能杆件拼装,然后构筑于钢板桩围堰、双壁钢围堰、异形钢围堰、锁口钢管桩围堰等围堰之中或者钢护筒之上。综合多方面因素的比较考虑,本工程采用钢管桩支撑固定式工作平台,如图2所示。施工平台采用贝雷架做纵梁,型钢做横梁,横梁上铺设槽钢形成桁架桥。每个平台采用24根 $\phi 426$ mm钢管

作为平台的垂直支撑杆件,并与 $\phi 650$ mm的斜钢管桩共同抵抗风、水流量和波浪力,[14a槽钢和 $\phi 180$ mm钢管作为钢管桩之间起联系作用的杆件;平台主梁与次梁均采用[25a工字钢。施工平台及桁架桥上行车道板均采用[22a槽钢铺设,间距为70 mm。平台钢管桩要求有足够的强度、刚度和稳定性,以承受竖向荷载及振动力,平台钢管桩之间设置多道横向联结以保证平台的稳定性和抗扭能力。

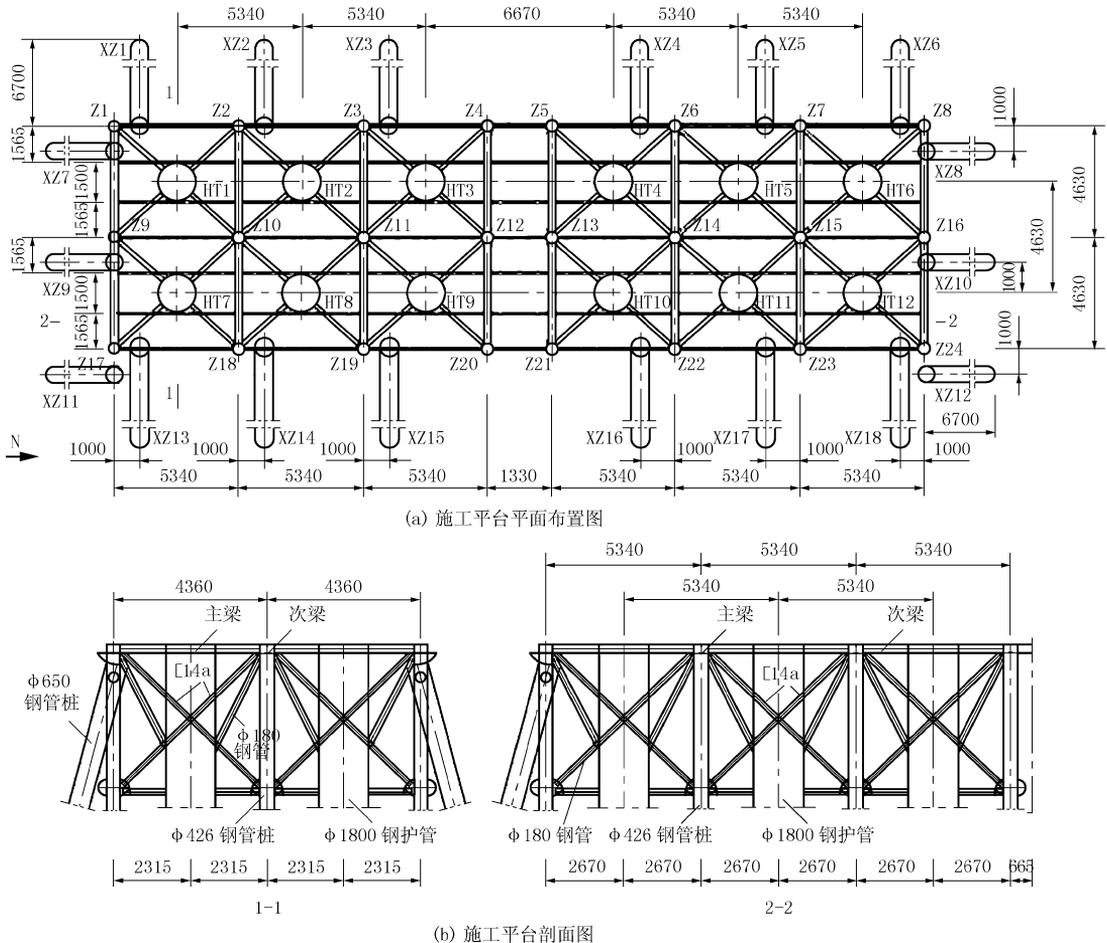


图2 钢管桩支撑固定式工作平台

3 平台结构数值计算分析

钢管桩支撑固定式施工平台实际是一个钢框架结构,框架的梁柱构件之间可以采用铰接连接、刚性连接与半刚性连接。在力学模型上,铰接连接的梁杆可以任意相对转动,不能传递弯矩;刚性连接能传递弯矩,相连两杆间也没有相对转动;半刚性连接则介于其中,有传递弯矩的作用,但相连两杆之间有一定程度的相对转动。鉴于钢管桩和主梁的相对线刚度相差不大,可以视为刚性连接。

本文采用 ANSYS 有限元分析软件进行平台结构的受力分析。钢管桩、主次梁均采用空间梁单元 beam188;钢管桩之间采用 link8 二维杆单元。钢材弹性模量 $E = 2.06 \times 10^5$ MPa, $\mu = 0.3$ 。在保证足够计算精度和较快运算速度的情况下,合理划分单元,平台结构的有限元模型如图3所示。

3.1 钢管桩及钢护筒长度的确定

钢管桩及钢护筒长度根据《港口工程桩基规范》(JTJ 254-98)提供的弹性长桩嵌固点的计算方法确定。受弯嵌固点距河床底部泥面深度:

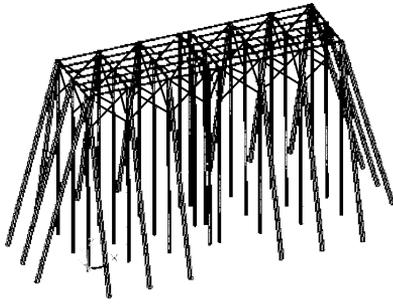


图3 平台结构有限元模型

$$z = \eta T$$

$$T = \sqrt[5]{E_p I_p / (m b_0)}$$

式中: η ——系数,通常取 1.8 ~ 2.2; E_p ——桩材料的弹性模量; I_p ——桩身截面惯性矩; m ——桩侧地基土的水平抗力系数随深度增长的比例系数; b_0 ——桩的换算长度。

在弹性长桩的受弯嵌固点处将其作为固定端施加约束。

3.2 荷载分析

3.2.1 平台板荷载

平台板由 [22a 槽钢倒扣, 间距 70 mm 铺设于次梁之上。

3.2.2 钻机荷载

钻孔灌注桩采用冲击钻成孔, 其底座尺寸为 1.5 m × 4 m, 质量 5 t, 考虑 1.3 的动力系数, 通过钻机下的走管将荷载以集中荷载形式传到次梁之上。

3.2.3 主次梁、钢管桩荷载

构件自重由 ANSYS 程序自动考虑, 钢材容重取 78.5 kN/m³。

3.2.4 风荷载

风荷载偏安全地布于露出水面的平台 E 向节点上, 风荷载标准值由下式计算:

$$\omega_k = \beta_z \mu_s \mu_z \omega_0 \quad (1)$$

式中: ω_k ——风荷载标准值, kPa; β_z ——高度 Z 处的风振系数; μ_s ——风荷载体形系数; μ_z ——风压高度变化系数; ω_0 ——基本风压, kPa, 大桥所在地区地面粗糙度为 A 类, 按规范取 50 年一遇的基本风压为 0.35 kPa。

3.2.5 水流量

水流量计算参照《港口工程荷载规范》(JTJ 215 - 98) 计算, 并等值均布于处于水中的钢管桩节点上。

$$F_w = (1/2) C_w \rho v^2 A \quad (2)$$

式中: F_w ——水流量; C_w ——水流阻力系数, 取 0.73; ρ ——水密度; v ——水流设计流速, 取 2 m/s;

A ——迎水面积。

3.2.6 波浪力

波浪力按《海港水文规范》(JTJ 213 - 98) 进行计算, 并等值均布于处于水中的钢管桩节点上。

3.2.7 混凝土运输车荷载

混凝土运输车轴距取 3.0 m, 轮距取 1.8 m, 前轴重力 50 kN, 后轴重力 300 kN, 以集中荷载的形式作用于主次梁之上。

3.3 施工平台承载力极限状态作用效应计算

钢管桩独立插打时的计算荷载组合为: 水流量 + 风力, 不考虑异物撞击, 同时以波浪力 + 风力荷载组合作为校核。

平台在运营过程中承受自重、钻机荷载、波浪力、水流量和混凝土运输车荷载, 其承载力作用效应按《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ 267 - 98) 中的短暂状况进行组合。

$$S_d = \gamma_0 [\gamma_{G1} S_{G1k} + \gamma_{G2} S_{G2k} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \psi (\gamma_{Q2} S_{Q2k} + \gamma_{Q3} S_{Q3k} + \gamma_{Q4} S_{Q4k})] \quad (3)$$

式中: S_d ——承载力作用效应; γ_0 ——结构重要性系数, 取 $\gamma_0 = 1.0$; S_{G1k} 、 S_{G2k} ——永久作用标准值产生的作用效应; γ_{G1} 、 γ_{G2} ——永久作用分项系数, 取 $\gamma_{G1} = \gamma_{G2} = 1.2$; S_{Q1k} ——主导可变作用标准值产生的作用效应(参与组合的可变作用效应中的最大者即为主导可变作用效应, 本文中的主导可变荷载为混凝土运输车荷载); γ_{Q1} 、 γ_{Q2} 、 γ_{Q3} 、 γ_{Q4} ——分别为混凝土运输车荷载、风荷载、水流量、波浪力的可变作用分项系数, $\gamma_{Q1} = \gamma_{Q2} = 1.3$ 、 $\gamma_{Q3} = \gamma_{Q4} = 1.4$; S_{Q2k} 、 S_{Q3k} 、 S_{Q4k} ——分别为风荷载、水流量、波浪力等非主导可变作用产生的作用效应; ψ ——组合系数, 取 $\psi = 0.7$ 。

偏于安全和计算方便的考虑, 风荷载作用在平台迎风面较大的方向, 即从 E 至 S, 水流量、波浪力从 2 个方向作用, 因此施工平台承载力作用效应的计算有如下 2 种工况:

工况一: 风力由 E 至 W, 水流量、波浪力由 N 至 S;

工况二: 风力由 E 至 W, 水流量、波浪力由 E 至 W。

3.3 结果分析

钢管桩独立插打时, 桩的内力和稳定应力计算结果如表 1 所示。平台承载力极限状态下钢管桩 Z1 ~ Z24 的内力以及桩顶位移计算结果如表 2 所示。由表 1、2 所示的计算结果可看出, 在平台使用期间, 工况一时平台发生位移较大的钢管桩为 Z9 ~

Z16,大小为39.1~39.3 mm;工况二时平台发生位移较大的钢管桩为Z2、Z10、Z18及Z7、Z15、Z23,大小为33.9~34.2 mm,平台中起支撑作用的钢管桩均能满足强度、稳定的要求。同时通过计算对比分析,设置的斜钢管桩能明显地提高抗侧移能力,在有

表1 钢管桩独立插打时桩的内力和稳定应力计算结果

设计荷载组合	锚固点轴力 /kN	锚固点弯矩 /(kN·m)	稳定应力 /MPa
水动力+风力	24.8	21.25	18.7
波浪力+风力	24.8	167.3	134

表2 平台承载能力极限状态内力计算结果

工况	桩号	桩顶位移/cm			钢管桩内力				
		X	Y	Z	轴力/kN	剪力/kN		弯矩/(kN·m)	
						桩顶	桩底	桩顶	桩底
工况一	1	-2.86	0.005	0.18	220.48	-7.90	20.94	19.55	92.49
	2	-2.91	0.03	-0.06	-75.81	-30.65	19.63	-8.42	85.27
	3	-2.94	-0.007	-0.04	-58.31	-23.00	16.68	-0.70	72.06
	4	-2.95	-0.05	-0.04	-62.26	-14.21	3.13	-17.35	13.94
	5	-2.95	-0.09	-0.06	-81.88	16.64	2.68	-35.77	-10.58
	6	-2.94	-0.004	-0.04	-56.64	-12.21	16.53	-17.61	-70.89
	7	-2.92	0.02	-0.05	-74.76	-12.69	19.47	-20.79	-83.91
	8	-2.87	0.004	-0.23	-279.12	-12.52	20.80	-14.70	-91.43
	9	-3.92	0.006	-0.01	-50.36	-17.60	21.98	4.95	100.33
	10	-3.93	0.04	-0.13	-158.51	-17.73	21.66	9.37	97.91
	11	-3.92	-0.001	-0.09	-115.89	-23.74	21.60	1.36	97.40
	12	-3.91	-0.05	-0.13	-164.18	-5.73	21.95	23.12	100.03
	13	-3.90	-0.06	-0.20	-271.04	-22.42	21.74	-1.20	-98.46
	14	-3.92	0.003	-0.10	-132.42	-18.65	21.54	-9.79	-9.69
	15	-3.92	0.03	-0.12	-151.15	-18.38	21.64	-8.85	-97.64
	16	-3.91	0.008	-0.11	-140.00	-14.92	21.73	-12.60	-98.38
	17	-2.87	0.01	0.18	219.96	-7.84	20.94	19.67	92.15
	18	-2.92	0.05	-0.06	-77.01	-30.89	19.61	-8.54	85.11
	19	-2.95	0.004	-0.04	-55.94	-22.66	16.66	0.16	71.96
	20	-2.96	-0.05	-0.01	-27.32	-0.16	3.20	3.12	14.66
	21	-2.96	-0.05	-0.02	-39.34	-11.02	2.62	5.21	-9.93
	22	-2.95	0.009	-0.03	-52.50	-12.68	16.56	-16.29	-71.18
	23	-2.93	0.04	-0.06	-76.83	-12.29	19.49	-21.08	-84.14
	24	-2.88	0.01	-0.23	-281.19	-12.46	20.81	-14.64	-91.53
工况二	1	-0.004	1.12	-0.004	84.79	-8.94	5.55	-1.93	22.64
	2	-0.006	3.39	-0.006	-44.69	-10.62	9.08	-12.47	46.94
	3	-0.004	1.25	-0.004	114.86	-14.93	12.44	7.46	50.00
	4	0.007	0.95	-0.007	93.42	-32.67	20.15	-0.92	80.21
	5	0.006	0.93	0.006	86.58	44.02	-20.25	-19.44	81.01
	6	0.01	1.25	0.01	112.42	15.07	-12.46	6.94	50.19
	7	0.02	3.39	0.02	-43.69	10.49	-9.08	-12.33	47.00
	8	0.01	1.12	0.01	84.71	8.88	-5.56	-1.91	22.72
	9	0.002	1.13	0.002	-80.54	-1.34	0.12	-3.83	0.97
	10	-0.003	3.41	-0.003	-155.64	0.36	0.014	0.33	0.12
	11	-0.001	1.27	-0.001	-119.27	-5.41	-0.015	-7.87	-0.10
	12	0.007	0.97	0.007	-176.15	12.21	0.24	14.76	1.80
	13	0.008	0.96	0.008	-268.74	-4.48	0.03	7.16	-0.24
	14	0.004	1.27	0.004	-129.12	-0.33	-0.073	-0.56	0.58
	15	0.008	3.40	0.008	-154.11	-0.29	-0.018	0.19	0.16
	16	0.003	1.14	0.003	-80.46	1.34	-0.12	-3.83	0.98
	17	0.02	1.13	0.02	-144.91	13.57	-5.42	6.88	-21.63
	18	0.01	3.42	0.01	-116.47	-7.71	-8.94	-17.00	-45.80
	19	0.006	1.26	0.006	-201.57	4.62	-12.33	-24.38	-49.12
	20	-0.003	0.96	-0.003	-172.35	27.24	-19.73	-13.20	-76.90
	21	-0.003	0.96	-0.003	-171.59	-29.48	19.63	-11.21	-76.18
	22	-0.01	1.27	-0.01	-202.24	-4.62	12.33	-24.45	-49.10
	23	-0.02	3.41	-0.02	-116.57	7.74	8.94	-17.03	-45.81
	24	-0.02	1.13	-0.02	-145.47	-13.50	5.42	6.83	-21.68

较大风浪的水域,固定式施工平台设置斜桩是较好的选择。

4 工作平台的施工

4.1 钢管桩的施工

单根钢管桩需穿透 5 m 厚卵石层,达到岩层。钢管桩下沉就位受水流冲击力的影响较大,因此施工时应选择在水流速度较慢时进行,这样有利于钢管桩的正确定位,减少变形量。

4.1.1 钢管桩定位

利用大桥控制网布设的临时控制点,通过全站仪进行钢管桩的定位。

4.1.2 钢管桩沉入

钢管桩施工采用振动打桩机,功率在 60 kW 以上,并辅以喷射法施工。喷射施工过程中,两根喷射管对称安装在桩的两侧,距离桩端 0.5 m 处,喷射水压为 0.7 ~ 1.4 MPa。钢管桩倾斜率控制在 1% 以内,位置偏差控制在 300 mm 以内。

钢管桩的施工必须连续进行,在施打钢管桩的同时,不断将已就位的钢管桩连成一体,这样可有效地提高钢管桩在施工过程中抵抗变形的能力。钢管桩间连接如图 4 所示。

4.1.3 钢管桩固定

在钢管桩和钢护筒底口外围抛沙袋,沙袋堆积高度为 1.5 m,保证钢管桩底的固定。

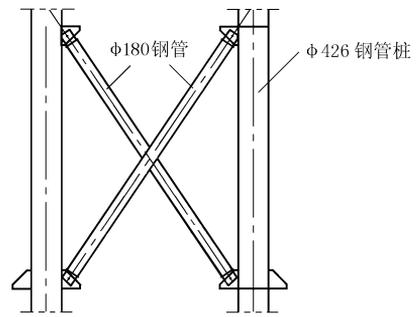


图 4 钢管桩间连接方式

4.1.4 钢管桩拔除

钢管桩使用完毕后,必须拔除回收利用。对于埋深浅的钢管桩,可采用水平力拉倒的方法进行拔除;对于埋深较大的钢管桩,可在浮吊上安装双频振动锤向上拔出。当上述两种方法不能拔除时,可在水下覆盖层处用氧气吹割。

4.2 斜钢管桩的施工

斜钢管桩的设置能显著地提高施工平台的抗侧移能力,提高平台的稳定性,确保水域桩基施工的安全。斜钢管桩的施工可以采用锤笼吊打法^[1]或者可移式水上平台施工法^[2]。在本平台施工中,用起重机起吊一个特殊的锤笼,并使锤笼具有与桩相同的倾斜度,套入由斜桩定位导架定位的斜桩。在斜桩基本不承受锤笼重力的法向分力状态下植桩作业,斜桩施工工艺如图 5 所示。

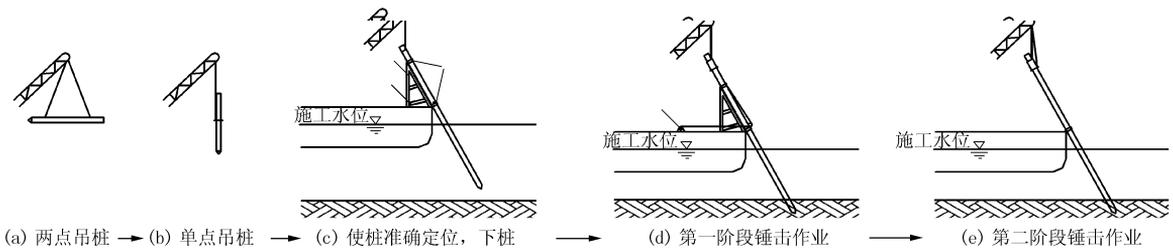


图 5 斜桩施工工艺流程图

(1) 起重机主钩吊桩(两点吊转单钩垂吊),如图 5(a)、(b)所示。

(2) 桩进入定位导架龙口后,降低钢管桩高度,使桩尖距泥面一定距离,以不影响移船为准。移船到位后下桩,如图 5(c)所示。

(3) 小钩挂好起落架钢缆,大钩吊锤笼套桩顶就位(卷扬机辅助拉锤笼),如图 5(d)所示。

(4) 小钩起动柴油锤空锤锤击或即开即停锤击至安全贯入度;正常开锤植桩至锤笼下沿接近定位导架;吊离锤笼安置于锤笼托架;打开上抱桩器拆卸定位导向架上部,用大钩吊起并置于甲板上;大钩吊

锤笼重新套桩开打至标高,如图 5(e)所示。

(5) 打开下抱桩器退船,进入下一作业循环。

4.3 平台结构施工

钢管桩全部下沉完毕后,根据水位和后续工作确定一个合理标高。在桩顶横梁上先安装纵桁梁,在横梁节间支点上安装横向工字钢梁,用抱箍固定,最后在横钢梁上铺设竹或木跳板、槽钢即成平台,如图 6 所示。施工时应注意钢管桩稳定。当平台距水面较高和水流速度较大时,钢管桩顶要增设横梁,并在水流方向焊接剪刀撑,形成框架体系以保证稳定和安全。

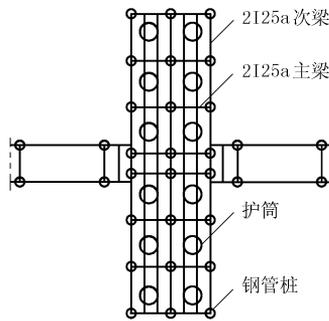


图6 施工平台示意图

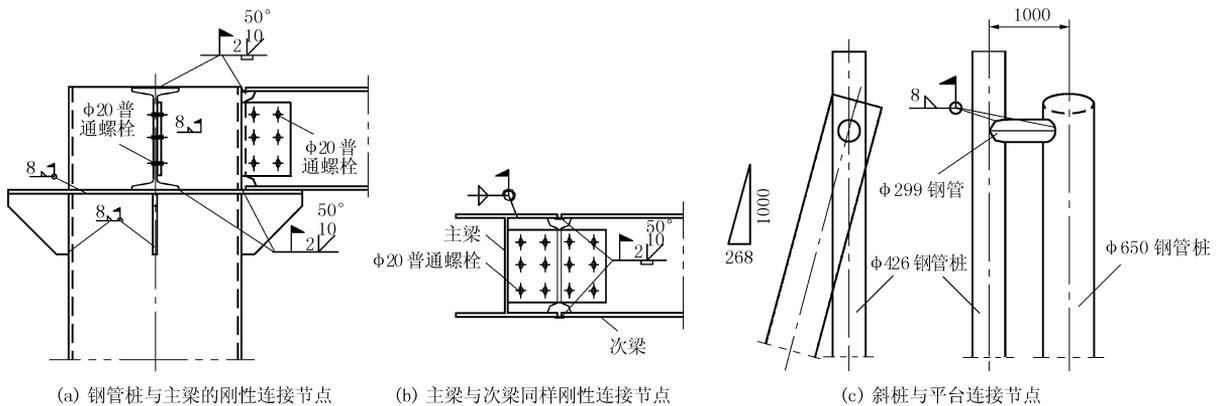


图7 平台钢结构节点示意图

4.4 钢结构节点的施工

一般平台采用桁架式或梁式结构且简支于钢桩之上,这种结构抗弯扭能力差,整体刚度不强。本平台钢管桩与主梁、主梁与次梁均采用刚性连接的形式。将平台主梁与钢管桩固结,增强了平台结构整体抗水流或波浪的能力。钢管桩与主梁的刚性连接节点及主梁与次梁刚性连接节点如图7所示。

5 结语

桥梁工程建设经常面临跨越河流、在深水中施

工桩基的难题,解决这一难题的关键是搭设深水中桩基施工平台,因此,科学合理地进行水上施工平台的设计、施工,对保证水上施工平台的建造以及建成后的营运安全非常重要。

(1) 钢管桩支撑固定式水上施工平台的特点是在墩位处采用锤击、震动或压入法下沉钢管桩至一定深度后,将桩互相联结,在桩顶架设施工平台,再于平台上安装沉桩和导桩设备。此种平台可根据基桩结构形式、桥址的水文、地质条件和施工单位所拥有的水上作业设备、器材,以及施工单位习惯采用的作业方法,修建适用的平台。

(2) 斜钢管桩的设置,能在增加用钢量不多的情况下较大地减小平台的侧移,斜钢管桩的施工可以采取锤笼吊打法施工,施工时可采用现有设备,经过创新性改装,造价较低。

(3) 钢管桩的施工必须连续进行,在施打钢管桩的同时,不断的将已就位的钢管桩连成一体,平台的刚度在其建造过程中逐渐形成,这一施工措施可有效地提高钢管桩受水流、波浪作用时抵抗变形的能力。

(4) 良好的连接是钢管桩固定式工作平台具有较强刚度的保证,钢管桩与平台主梁,主梁与次梁的

连接均采用刚性连接形式。将平台与钢管桩固结,可增强平台整体抗水流或波浪的能力,尤其适合于有风浪的水域作业。

(5) 在建造施工平台的过程中,应该采取有效措施,保证平台受力与设计一致,从而保证平台稳定。同时在施工平台上设置明显的安全警示标志及晚上反光或照明标志,确保过往船舶不碰撞平台,并通过水上公安派出所发出公告,要求过往船只在通过施工平台时减速行驶,减低波浪的影响。

参考文献:

- [1] 刘自明. 桥梁深水基础[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [2] 张建勋,孙旻,徐伟. 两种形式深水桩基施工平台的有限元分析[J]. 福建工程学院学报,2004,(1):33-35.
- [3] 郭莉. 水上钢管桩施工平台的受力分析[J]. 建筑施工,2003,(4):311-312.
- [4] GB 50017-2003, 钢结构设计规范[S].
- [5] JTJ 215-98, 港口工程荷载规范[S].
- [6] JTJ 267-98, 港口工程混凝土结构设计规范[S].
- [7] JTJ 213-98, 海港水文规范[S].
- [8] JTJ 254-98, 港口工程桩基规范[S].
- [9] 赵汉明. 锤笼吊打斜桩工艺及应用[J]. 中国港湾建设,2000,(2):5-10.