

文章编号: 0451-0712(2005)02-0008-08

中图分类号: U445.55

文献标识码: B

苏通大桥北主墩钻孔平台方案设计

张 鸿^{1,2}, 张永涛²

(1. 华中科技大学 武汉市 430000; 2. 中港二航局 武汉市 430014)

摘 要: 苏通大桥北主墩是全桥的控制性工程,其地质水文条件极其复杂,本文对北主墩基础钻孔平台的结构形式及施工方法进行探讨。

关键词: 苏通大桥; 北主墩; 钻孔平台; 河床防护

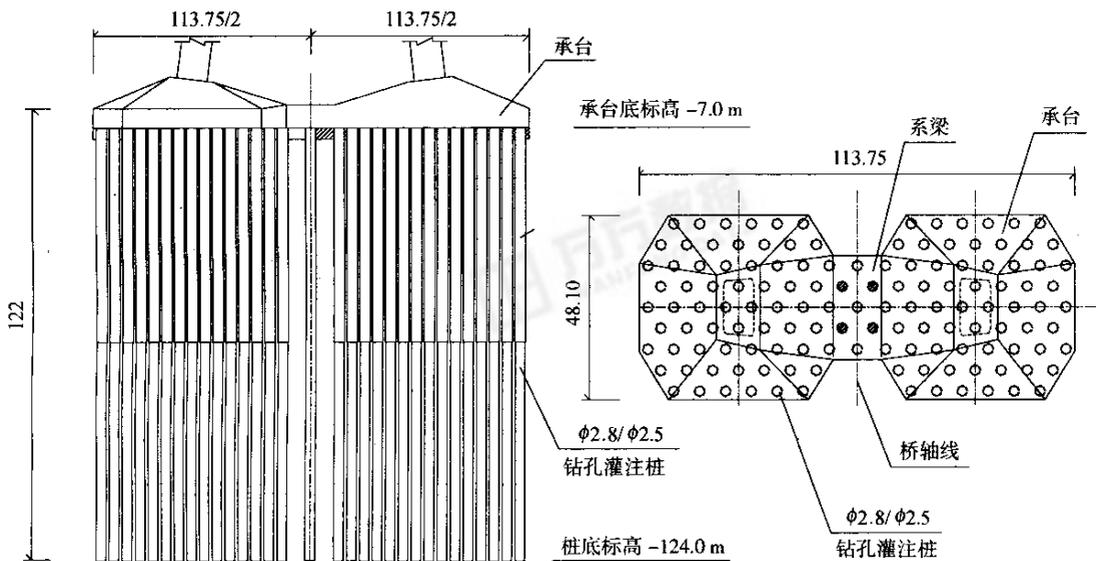
1 苏通大桥概况

苏通长江公路大桥主桥为双塔双索面钢箱梁斜拉桥,主跨为1 088 m,跨径居世界同类型桥梁第一,代表中国桥梁建设技术的最高水平。主桥北主墩基础位于长江深泓地段,距南北两岸均约为3 km,河床面标高-28.0 m。

1.1 北主墩结构形式

主墩基础设计采用高桩承台式结构,桩基由135

根直径为2.8 m/2.5 m变径钻孔灌注桩组成(其中4根为备用桩位),呈梅花形布置,设计桩底标高为-124.0 m,桩顶标高为-7.0 m,桩长117.0 m,持力层为粉细砂,为摩擦桩,桩底后注浆。承台为哑铃形,单个承台平面尺寸为51.35 m(长)×48.1 m(宽),其厚度由边缘的5 m变化到塔中处的13.324 m,2个承台之间采用11.05 m(长)×28.1 m(宽)的系梁连接,系梁厚度为6 m。结构形式见图1所示。



单位:m

图1 北主墩结构

1.2 地质水文条件

桥址处于长江三角洲冲积区,第四纪地层厚度大,基岩埋深在270~280 m之间。其墩位处的上覆

土层主要由粉细砂组成。

桥址处于感潮河段,一年内最小流量出现在1月,至4月逐渐增大,最大流量一般出现在7月,10

月以后流量明显回落。汛期:6月~9月;平水期:5、10月;枯水期:11月~4月。

2 提出基于当前建设技术的可行性方案

对于桥梁基础高桩承台施工方法,目前较多采用的是“钢吊箱”方案,即先搭设钻孔平台,在其上设置导向装置沉放钢护筒,在平台上进行钻孔灌注桩施工,拆除钻孔平台后分节或整体吊装钢吊箱,浇筑封底、承台混凝土,完成基础施工。近年来在深水基础施工中,又从钢吊箱方案中衍生出浮运钢吊箱技术,即在陆地或驳船上制作钢吊箱,浮运至墩位处,通过导向船、定位船(或锚墩)和锚固系统定位固定,利用钢吊箱上设置的导向装置沉设钢护筒,调整钢吊箱至设计位置,转换受力体系使钢护筒成为吊箱的支撑结构,在钢护筒支撑的钢吊箱上进行钻孔桩、承台施工。将钻孔平台与钢吊箱结构结合考虑,浮运钢吊箱既可作为钻孔平台,又可作为承台施工的挡水结构,缩短了钻孔桩施工与承台施工工序的转换时间。

在北主墩基础施工方案设计中,将根据现场气象、水文地质及建设条件综合考虑这两种技术方案的可行性。

2.1 钻孔平台方案设计需要重点考虑的问题

(1)桥区风大浪高,航运繁忙。桥位处每天船舶通行量达到4 000艘,施工期间必须采取有效的保护措施确保钻孔平台以及船舶的安全。

(2)墩位区最大水深32 m,最大流速 >3.0 m/s,如何解决深水、大流速下搭设钻孔平台过程中钻孔平台支撑桩的稳定性问题。

(3)桩位密集,桩间净距仅3.6 m。

(4)单根钢护筒长69.2 m,壁厚25 cm,重量125 t,入土深度34 m,倾斜度 $<5\%$,需要考虑合理的方案确保钢护筒准确地沉设到位。

(5)在施工过程中,河床的冲刷对施工影响大。根据模拟河床冲刷的试验报告,若不采取河床防护,承台完成后最大冲刷深度达到21.5 m,将严重影响施工期间临时结构安全,需根据钻孔平台方案进行河床防护设计。

2.2 初步方案设计

基于北主墩的具体工程特点,提出了3种可行性技术方案并进行了初步设计:

(1)先沉设钢管桩形成钻孔平台,后沉设钢护筒进行钻孔桩施工;

(2)直接沉设钢护筒形成钻孔平台,进行钻孔桩施工;

(3)浮运钢吊箱。

2.2.1 钢管桩支撑钻孔平台方案

钻孔平台由上游平台区、钻孔平台区、下游平台区组成。采用高桩梁式结构,由支撑钢管桩($\phi 1\ 400 \times 16$)、上层主梁($\square 1\ 200 \times 800$)与次梁($\square 800 \times 400$)、下层钢管平联($\phi 800 \times 12$)构成。结构见图2所示。

需要注意的是, $\phi 1.4$ m辅助桩与钢护筒之间的净距仅1 m左右,若采用更大直径的钢管桩,提高单桩刚度,不但与规范关于桩的间距的要求不符,而且辅助桩或钢护筒在施打过程中若发生相向的偏位和(或)倾斜,极有可能发生二者相碰造成桩或护筒变形,对平台安全构成威胁,同时给后续钻孔桩施工带来难以克服的困难。

2.2.2 钢护筒支撑钻孔平台方案

该方案由起始平台区、钻孔区、下游平台区组成,起始平台位于钻孔平台上游侧,主要作用是沉放钢护筒,安装悬臂式定位导向架(用于下沉钢护筒时定位导向),提供具有足够刚度的起始工作平台。在平台南北侧各设置4根靠船桩。平台结构见图3。

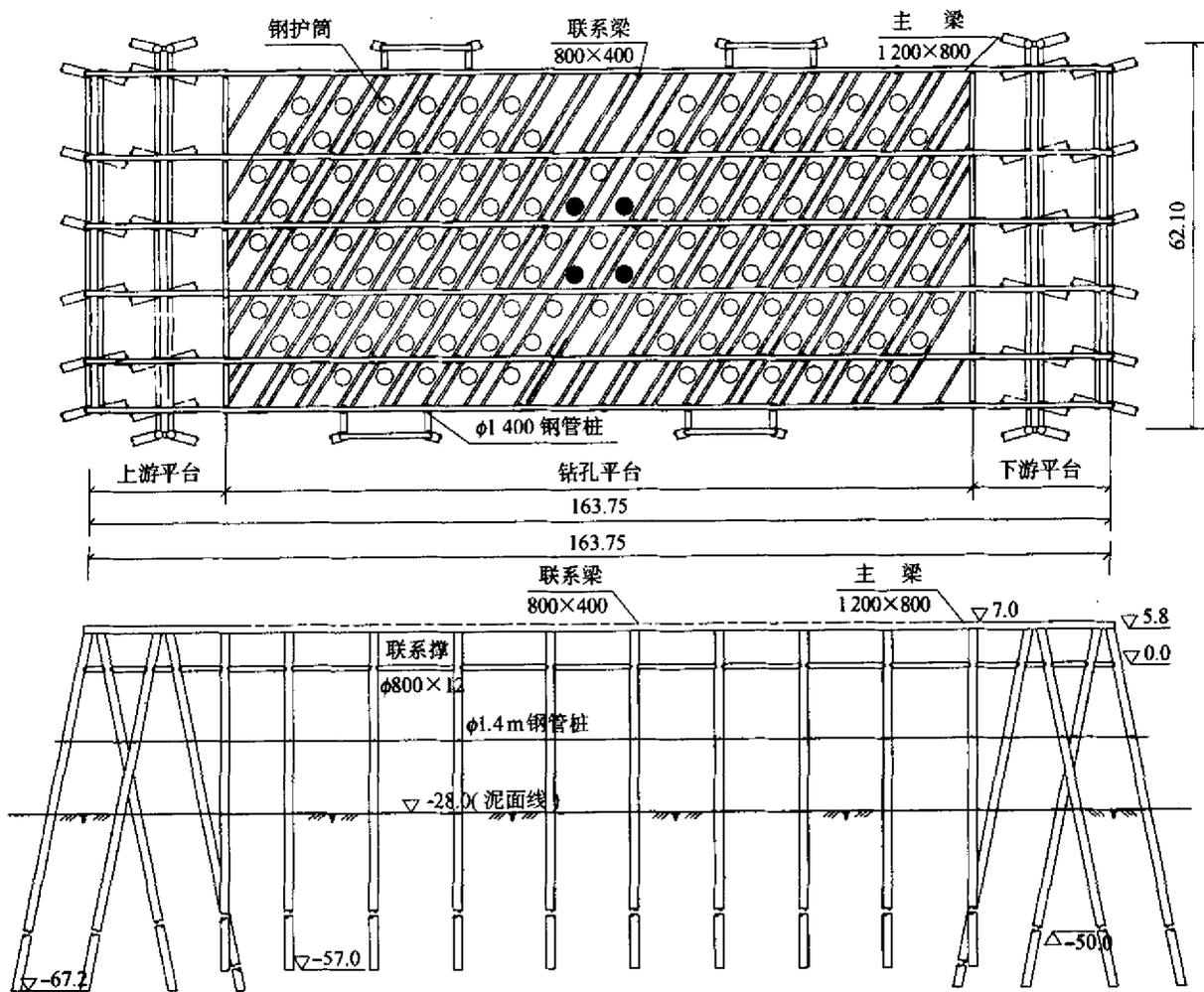
起始平台及下游平台采用 $\phi 2\ 540 \times 20$ 钢管桩支撑,桩顶标高+7.0 m,桩底标高-48.0 m。上部结构采用高、宽为1 000 mm、600 mm的钢箱梁通过牛腿与钢管桩焊接连接,标高+2.0 m处设置 $\phi 1\ 400 \times 14$ 钢管作为下层平联。所有构件之间的连接均采用焊接方式。

护筒区平台利用 $\phi 2\ 850 \times 25$ 永久钢护筒作为支撑结构,护筒顶标高+7.0 m,单根钢护筒下沉到位后,标高+2.0 m处的 $\phi 1\ 200 \times 10$ 的连接钢管及顶面处2 $\square 700 \times 300$ 的型钢与周围的钢护筒和钢管桩刚性连接起来,护筒区钢护筒自上游向下游侧逐排沉设,全部下沉到位后,即形成刚度强大的护筒区施工平台。

2.2.3 浮运钢吊箱方案

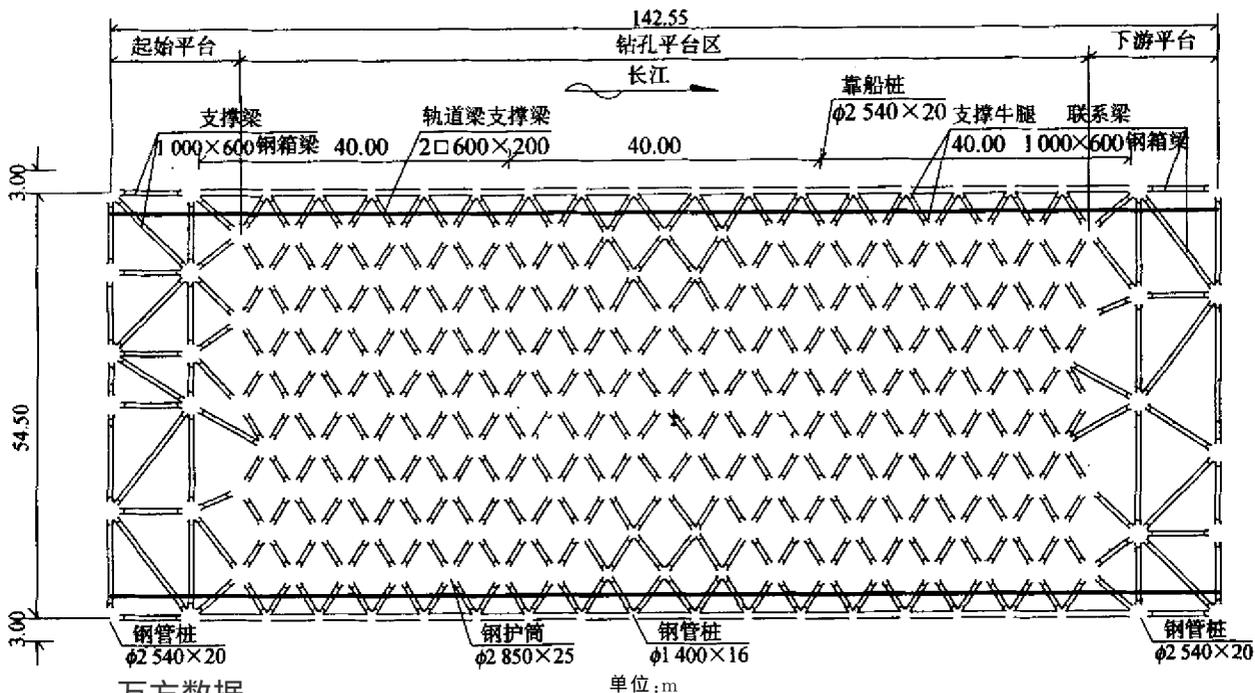
浮运钢吊箱方案计算工况多,结构较为复杂,必须同时兼顾钻孔和承台施工。为保证钢吊箱的定位,在距离钢吊箱中心线南北侧30 m处各布置2个导向墩,兼做靠船墩。浮运钢吊箱与常规钢吊箱结构相似,结构见图4所示。

单个导向墩平面尺寸为30 m \times 8 m,由12根 $\phi 2\ 540 \times 20$ 支撑钢管桩和1 000 \times 600钢箱梁双层平联组成,钢管桩斜度为4:1,桩顶标高为+6.0 m,



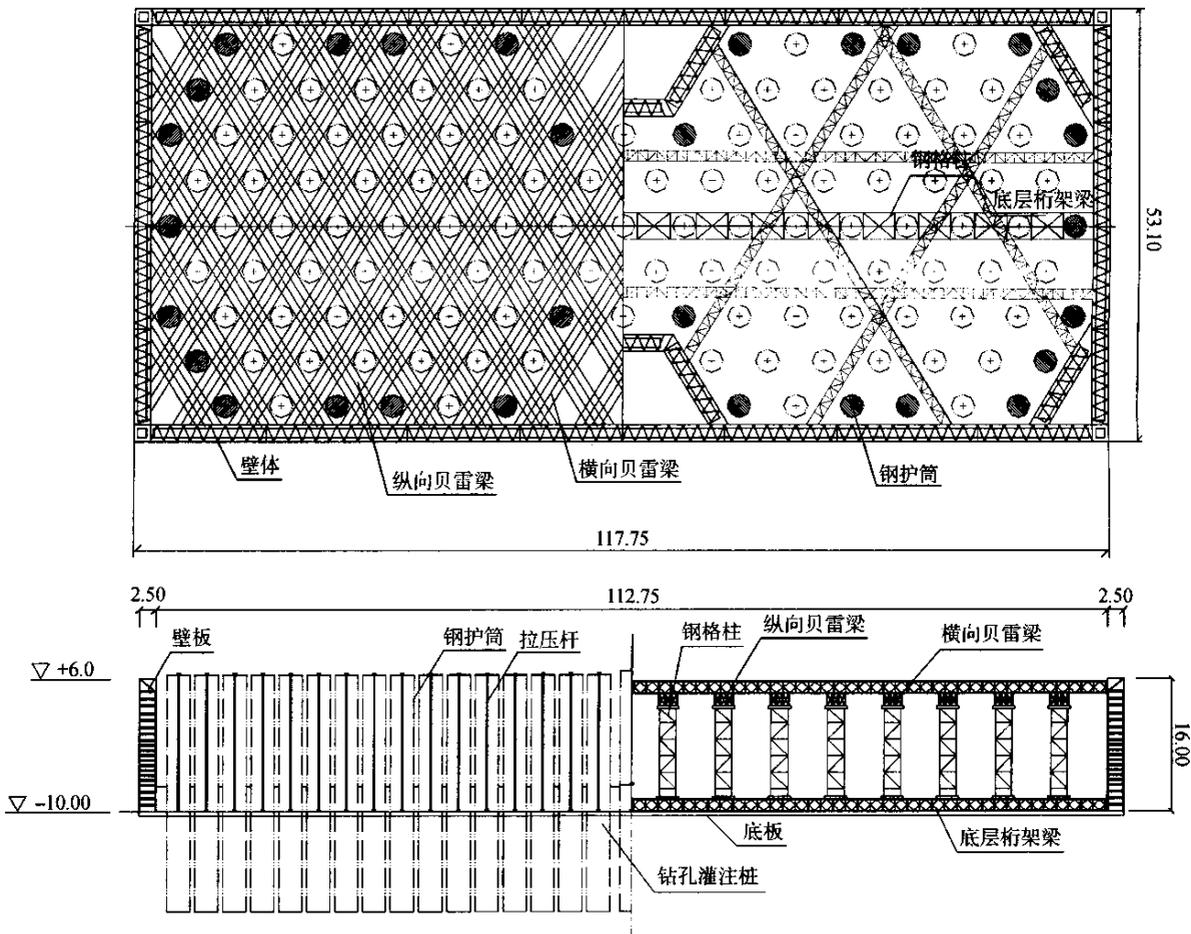
单位:m

图2 钢管桩钻孔平台结构



单位:m

图3 钢护筒钻孔平台平面结构



单位:m

图4 浮运钢吊箱结构

桩底标高为-50.0m。

在工厂内完成钢吊箱制作后,拖至现场墩位处,利用导向墩上的牵引系统将钢吊箱牵引至2排导向墩间,及时安装上下游定位船、钢吊箱、导向墩的锚缆。在平潮位期间调整钢吊箱平面位置。首先沉设30根支撑钢护筒(红色部分),通过固定装置将钢吊箱结构受力转换至支撑钢护筒上,固定好钢吊箱。利用钢吊箱上的定位、导向装置,从周边向中间逐步完成钢护筒沉设。部分钻孔桩成桩后解除锚固定位系

统。钢吊箱固定示意图5所示。

3 方案比选

3个钻孔平台方案均有可行性,采取合理措施、加强现场组织管理力度,都是可以用于北主墩基础施工。为使所采取的方案达到最优化,从工程材料的用量、施工工期、施工风险进行了综合比较,比较结果见表1~表4。

表1 工程材料比较

项 目	钢管桩支撑钻孔平台	钢护筒支撑钻孔平台	浮运钢吊箱
钢管桩	5 080	3 700	3 536
平联用钢量	1 864	1 600	550
钢套(吊)箱	4 791	4 800	5 120
万舟数据	11 735	10 100	9 206

注:材料表中未计入钢护筒材料量。

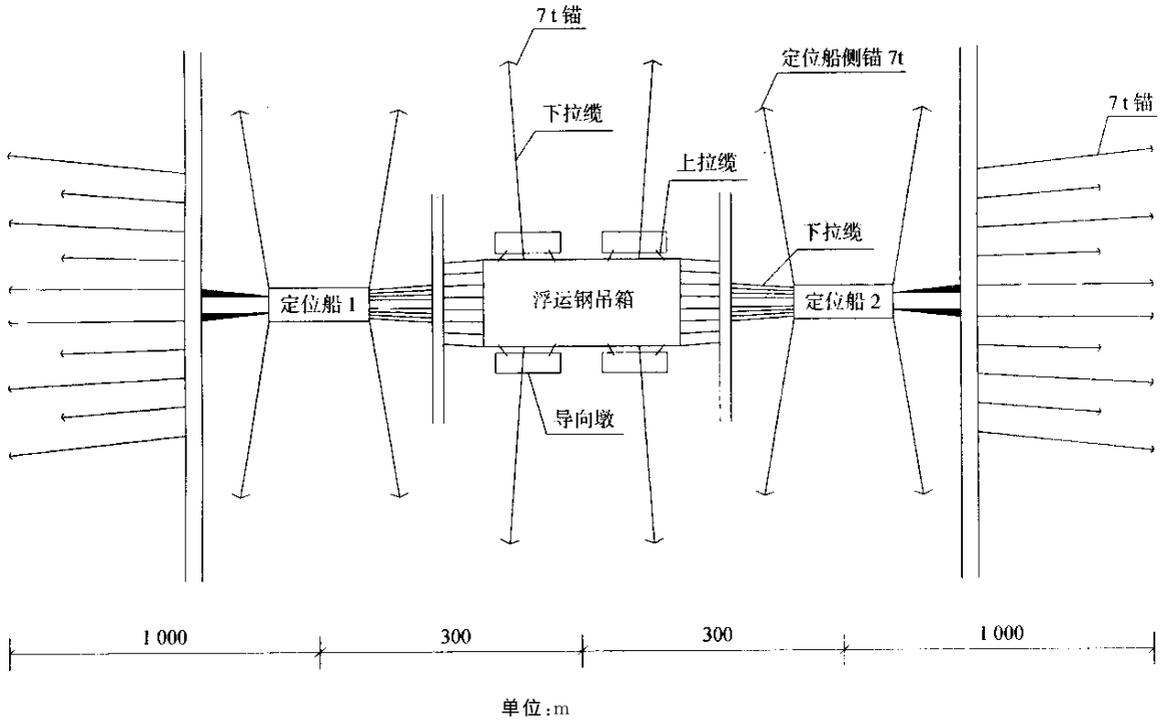


图 5 导向墩、定位船及锚固系统布置

表 2 施工工期比较

月

方案	钢管桩支撑钻孔平台	钢护筒支撑钻孔平台	浮运钢吊箱
工期	23	22	20

表 3 施工风险比较

项目	钢管桩支撑钻孔平台	钢护筒支撑钻孔平台	浮运钢吊箱
钢吊箱定位	—	—	在大流速、潮差影响明显、双向往复流、船形波的影响下,定位很困难
钢管桩下沉	采用的钢管桩刚度小,大流速下很难稳定,须采取临时措施	能够保证	能够保证
钢护筒下沉	下沉难度	下沉难度较大,遇到障碍物需搭设临时平台进行孔内清理下沉	下沉难度小
	精度控制	较难控制	起始支撑钢护筒定位精度较难控制
施工期间平台的稳定	较难稳定,钢护筒下沉过程中产生的振动,易使砂层液化,造成钢管桩下沉,危及平台安全	稳定	起始稳定性较差
河床防护的影响	采用分阶段防护,对后续工程影响小	采用分阶段防护,后续工程影响小	分阶段防护困难,一次性防护造成钢护筒下沉困难
钢吊箱封底难度	较小	较小	钻孔过程中很难保证钻渣及泥浆不进入套箱内,封底时需要进行清理,难度较大

表4 3个方案综合比较

项目	钢管桩支撑钻孔平台	钢护筒支撑钻孔平台	浮运钢吊箱
经济性	差	较好	好
施工工期	长	较长	短
施工风险	较低	低	高

经综合考虑,北主墩钻孔桩施工采用钢护筒支撑钻孔平台方案。

4 生产性试验

为了确定或检验设计桩长、钻孔平台搭设、钻孔桩及承台施工工艺和设备、河床防护效果,检验各土层的承载能力,对比试验确认桩底后注浆效果,确定钻孔泥浆配比、钻头选型、钻进速度、钻压等工艺参数,在北主墩附近处进行了试桩试验。试桩平台结构与钻孔平台结构相似,支撑桩采用 $\phi 1\ 400 \times 18$ 钢管桩。

4.1 钢管桩沉设

试验平台支撑钢管桩沉设时,正值7月份,墩位区实测最大流速达 3 m/s ,河床面冲刷至 -30.0 m ,最大水深达 34.0 m 。

经计算单桩在水流作用下产生涡激振动。为避免单桩的涡振,施工时采用“航工桩七”施打钢管桩,“航工桩四”作为稳桩船固定桩顶部,提高单桩稳定性。第1排4根桩沉设后,分别与“航工桩四”连接稳桩并横向连接成整体,第2、第3、第4排桩每施打1根后均与已联结桩形成整体后才脱离航工桩七龙口。钢管桩沉设示意图6所示。

4.2 试验结论

结合主1号墩(北过渡墩)试桩结果,得出以下结论:

(1)在深水大流速条件下难以保证 $\phi 1\ 400$ 钢管桩的单桩稳定,即使采用“桩四”稳桩措施,由于钢管桩直径较小,在如此恶劣水文条件下,单桩处于稳定临界状态,在主墩钻孔平台设计时必须重视单桩稳定计算,选择合适直径的钢管桩;

(2)由于单桩稳定性较差,在水流作用下极易产生摆动,很难保证钢管桩间水平平联的焊接质量,且接头是结构应力最集中的部位,设计时应选择能保证现场安装质量的连接方式;

(3)采用最大起重量为 300 t 全回旋转起重船,配合2台并联APF-400型振动锤施沉钢护筒的下沉方案可行;

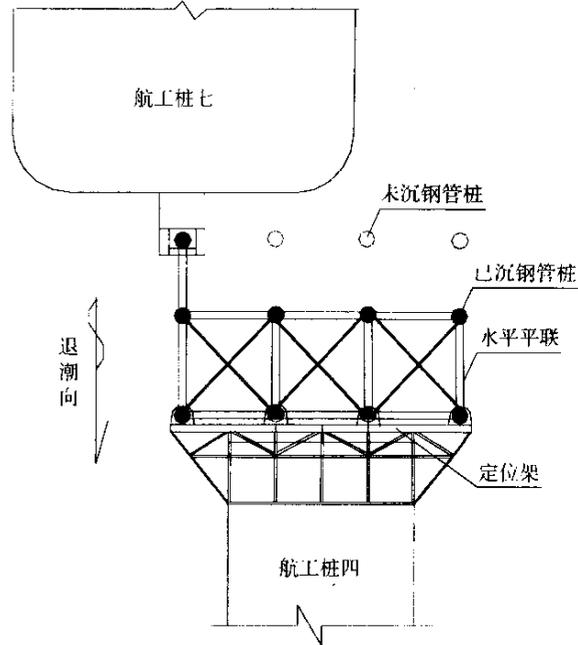


图6 试桩平台搭设示意

(4)北主墩试桩区的河床防护是比较成功的,在水下形成了预期的防护区,可保证墩位处施工期的河床稳定。

5 北主墩执行方案设计

根据试桩结论,进行了钢护筒钻孔平台方案的技术设计,分为设计、施工两部分,其中设计部分包括了单桩稳定性验算、起始平台结构验算、钻孔平台结构验算、河床防护设计。

5.1 钻孔平台设计

钻孔平台结构同图2,钢护筒与平联间连接采用抱箍型式,取代初步设计时考虑的直接焊接方式,较好地保证了现场连接质量。

5.1.1 设计条件

(1)平台施工期水文条件。

设计高潮位: 3.66 m ;

设计低潮位: -1.26 m ;

设计水流流速: 2.21 m/s ;

钢护筒振动下沉时允许水流流速: 1.5 m/s ;

钢护筒下沉时设计风速:不大于7级。

(2)平台使用期水文条件。

设计高潮位: 4.3 m ;

设计低潮位: -1.45 m ;

设计水流流速: 2.48 m/s ;

校核水流流速: 2.75 m/s ;

设计河底高程: -28.0 m;

设计冲刷深度: 5.0 m;

设计风速: 32.0 m/s。

(3) 施工荷载主要考虑钢护筒下沉过程中的激震力、钻机重量以及平台上门吊重量等。

5.1.2 设计工况

(1) 平台施工期计算工况。

单桩稳定计算和起始平台上设置导向架沉放钢护筒时的结构验算。

(2) 平台使用期计算工况。

起始平台及下游平台结构计算; 整个施工平台形成后的整体稳定性计算。

5.1.3 单桩稳定性验算

施工期起始平台采用 $\phi 2\ 540 \times 20$ 钢管桩, 护筒区平台采用 $\phi 2\ 850 \times 25$ 钢护筒。钢管桩和钢护筒沉放到位后, 受水流力和波浪力的影响, 计算 2 种支撑结构单桩起振流速、稳定, 计算结果见表 5。

表 5 单桩起振流速计算结果

桩规格	起振流速/(m/s)	
	横向	纵向
$\phi 2\ 540 \times 20$	1.99	2.28
$\phi 2\ 850 \times 25$	2.59	3.00

单桩起振流速均大于最大平均涨落潮流速, 表明单桩稳定。钢护筒施沉时应避开最大潮流速。

5.1.4 起始平台结构验算

采用有限元法对平台结构进行计算。

起始平台最大水平位移为 6.9 cm, 平台构件最大应力为 106 MPa。

5.1.5 钻孔平台整体验算

计算结果, 钻孔平台最大水平位移为 5.3 cm, 平台构件最大应力为 109 MPa。

5.1.6 河床防护设计

由于桥区河床表层为松散的粉细砂, 起动流速小, 极易形成冲刷。为保证施工期间钻孔平台的安全, 结合永久性防护, 分阶段进行护底防冲刷防护方案。

(1) 河床防护范围及防护构造组成。

北主墩冲刷防护平面布置分为核心区、永久防护区和护坦区。根据伊兹巴什公式计算, 护底采用的 1 m³ 袋装砂及袋装级配石、等效粒径 > 0.4 m 的块石, 起动流速均大于 3 m/s, 可保证基础施工中河床稳定。平面布置及防护构造组成见图 7 所示。

(2) 防护阶段划分。

① 在钻孔平台搭设前, 采用开体驳进行核心区

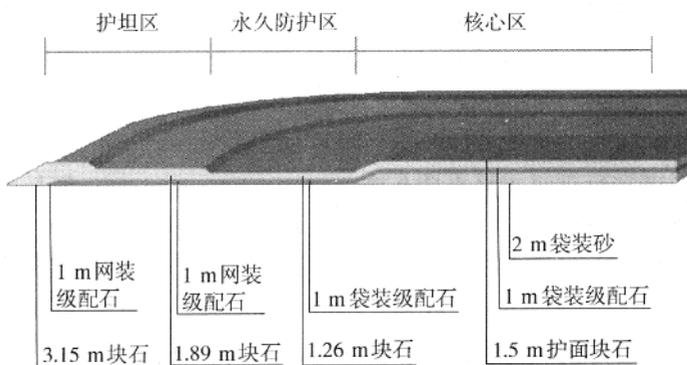
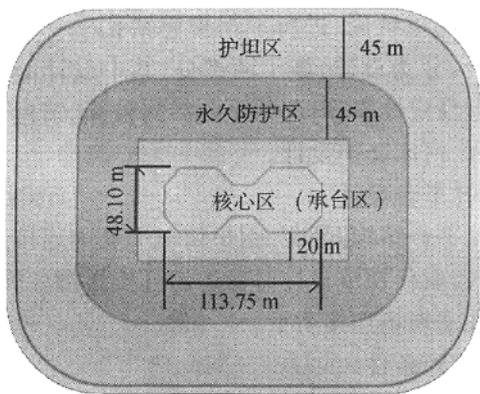


图 7 河床防护范围及防护结构组成

2 m 厚袋装砂施工;

② 在钻孔平台搭设完毕后, 先后进行核心区级配石、护面块石的抛填;

③ 当钢护筒下沉一半时, 进行上游永久性防护区和护坦区级配石施工;

④ 整个平台完成后, 分别抛填下游永久防护区和护坦区级配石、护面块石, 同时进行上游永久防护区和护坦区护面块石抛填。

5.2 钻孔平台施工

首先利用浮吊吊桩, 定位船上设置导向架完成起始平台的钢管支撑桩沉放和平台搭设; 利用锚固在起始平台上的悬臂式定位架导向沉放钢护筒, 并将已沉设到位的钢护筒与起始平台进行连接, 完成一排钢护筒沉放后, 钢护筒间及时进行连接; 导向架前移, 沉放下一排钢护筒, 直至完成所有钢护筒的沉放, 形成护筒区平台; 再利用已搭设的平台、悬臂式

定位导向架及浮吊完成下游平台桩的沉放,形成下游施工平台。

钢管桩及钢护筒沉设采用悬臂式定位导向架定位导向,300 t起重船作为吊装设备,2台APE400型振动锤并联振动下沉。

5.2.1 起始平台搭设

起始平台钢管桩施沉采用2000 t甲板驳船作为定位船,利用安装在定位船船艏的定位导向架定位,振动下沉,受水深水流条件、钢管桩设计长度、下沉定位方式等因素的制约,为提高作业效率和沉桩质量,单根55 m长的钢管桩整根沉放。

钢管桩着床选择在流速 <1.5 m/s和风力 <6 级时进行,以确保沉设过程中的定位精确度和船舶稳定。在钢管桩水平联系施工的同时,为提高单桩的稳定性,向已沉钢管桩内充填砂。

5.2.2 钻孔平台搭设

$\phi 2$ 850 mm钢护筒从起始平台前沿第1排开始沉放,逐步从上游往下游推进。

(1) 钢护筒下沉。

钢护筒分2节下沉,下节长59.2 m,上节长10 m。

首先起重船将第1节钢护筒吊入定位导向架的导向装置内,锁定上下龙口,利用龙口的调节装置,调整钢护筒的平面位置及垂直度,使平面位置偏差 $\leq \pm 30$ mm,倾斜度 $\leq 2/1000$ 。起重船落钩,钢护筒沿导向架着床并入土,起重船脱钩。起重船吊安振动锤至钢护筒顶口,校正钢护筒及振动锤的位置,起振动锤,护筒下沉。当振动锤至上导向装置1.0 m时停止振动,移走上层导向龙口,继续振动下沉护筒至下层导向龙口顶部约1.5 m处,停止振动下沉。将振动锤吊开,用起重船吊装对接第2节护筒。护筒对接完成且上层导向精确就位后,安装振动锤下沉护筒至设计标高。护筒下沉后的平面偏位 ≤ 50 mm,倾斜度 $\leq 5\%$ 。护筒下沉到位后,及时与起始平台及相邻钢护筒进行连接。在钢护筒周围补抛砂袋。

(2) 钻孔平台形成。

钢护筒之间用钢管、型钢在标高+2.0 m和+7.0 m处设置2层水平联系。单根护筒沉放结束后,按设计要求焊接平联,与已沉护筒连成整体,防止单根护筒在潮流作用下发生偏位。

6 结语

在苏通大桥北主墩基础钻孔平台方案设计中,集合了国内外在河床防护及结构设计方面最具实力的设计、研究、施工单位,结合专家的智慧,对深水大流速、复杂地质条件下钻孔平台施工技术难题进行了研讨,形成了技术可靠的施工方案。

(1) 钻孔平台结构初步设计中考虑了钢管桩支撑钻孔平台、钢护筒支撑钻孔平台、浮运钢吊箱等3种可行性技术方案,通过对经济性、施工工期、施工风险等方面的比较,考虑本工程钢护筒作为结构受力的一部分,其直径大、壁厚、埋置深的特点,选择了经济性较好、施工风险低的钢护筒支撑钻孔平台方案,采用悬臂式定位导向架配合大型振动锤沉放钢护筒的施工方案,解决了单桩及施工平台的稳定问题,同时保证了钢护筒倾斜度5%的精度要求。为在深水、大流速条件下,进行钻孔平台搭设施工提供了一个可供选择的方案,丰富了大型桥梁基础的施工经验。

(2) 为减少现场焊接工作量,保证钢护筒与钢管桩之间、钢护筒间连接的强度,对哈佛形式、加劲板形式、牛腿形式和抱箍形式进行了比较,最终选定了质量容易保障的抱箍连接。

(3) 结合河工模拟实验,采用分阶段河床防护方案,保证钻孔平台在施工阶段及使用阶段河床的稳定。

(4) 钻孔平台搭设与河床防护交替进行,缩短了施工工期;采用大刚度悬臂式定位导向架沉设钢护筒,保证了钢护筒的沉设精度。

巫山长江大桥竣工通车

2005年1月8日,重庆市巫山长江大桥竣工通车。

巫山长江大桥位于长江三峡巫峡口,全长612.2 m,主拱净跨460 m,桥宽19 m。其缆索吊装系统路径、吊重量、起吊高度、泵送混凝土难度均为同类桥之最。大桥建设工程于2001年12月28日开工建设,总投资1.96亿元。

该桥的建成通车,可连接湖北巴东、恩施、宜昌、建始以及湖南的张家界等,对拓展巫山旅游发展空间,顺畅渝东交通,促进渝东经济发展有着深远的意义。