

# 深水巨型钢沉井定位着床施工工法

中铁大桥局集团有限公司

陈涛、李军堂、崔一兵、余允峰、唐勇

## 1、前言

沪通长江大桥主航道桥采用双塔五跨连续钢桁梁斜拉桥，孔跨布置为（142+462+1092+462+142）m，为世界上跨度最大的公铁两用斜拉桥。主航道桥6个桥墩均采用沉井基础。主墩采用倒圆角的矩形沉井基础，沉井顶面平面尺寸为86.9m×58.7m。倒圆半径为7.45m，沉井平面布置为24个12.8m×12.8m井孔，主墩28号墩沉井总高105m，主墩29号墩沉井总高115m，沉井下部为钢沉井，上部为混凝土沉井，其中28号墩钢沉井总高50m，主墩29号墩钢沉井总高56m。

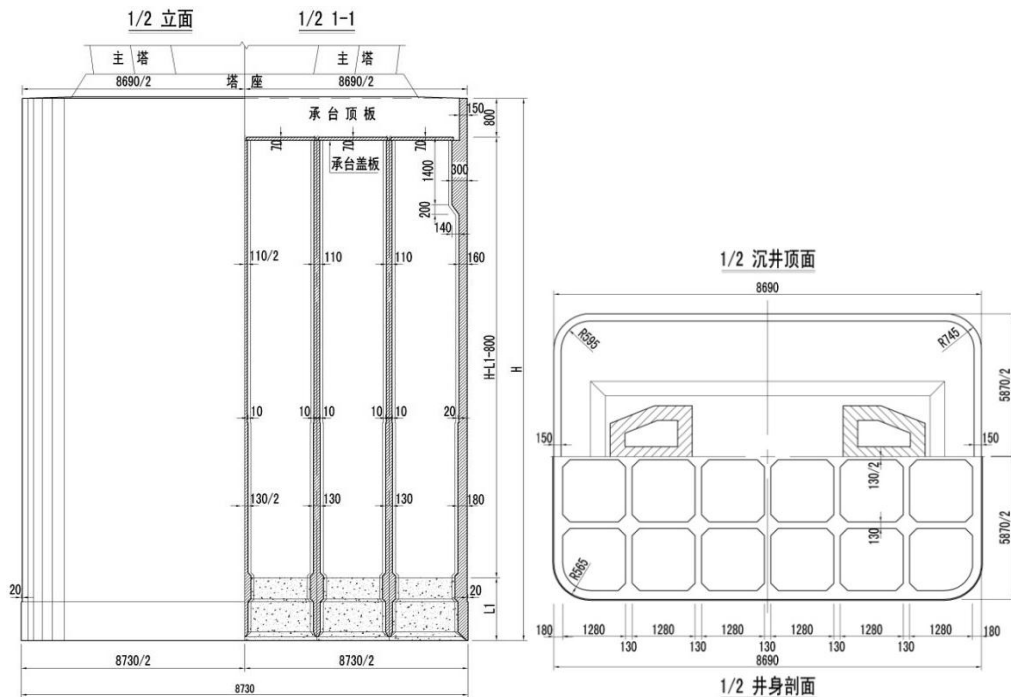


图1 主航道桥主墩沉井基础结构（单位：m）

由于沉井断面和高度的不断增大，沉井定位过程中所受水流力相应增大，这对沉井定位系统提出了更高的要求。传统的沉井定位系统中的锚固体系多采用“重力式锚”或者“高桩锚墩”的结构形式，收紧体系的多采用以“多股钢丝绳+滑车组+卷扬机（或线性绞车）”的组合形式。“重力式锚”或者“高桩锚墩”等锚固体系，受到结构受力特点、施工场地等条件的限制，难以承受巨大的水平力。常规的收紧体系响应速度慢、多股钢丝绳的受力

特征复杂、系统刚度小。因此，在大型钢沉井的定位施工中，传统的定位形式已不能完全满足施工要求。

沪通长江大桥主墩沉井定位，锚固体系采用“大直径钢管桩+混凝土重力锚”的组合形式，其中主锚采用大直径钢管桩的结构形式，并将拉缆锚固点设置在河床面，充分依靠桩周土抗力来提供巨大的水平力和上拔力。定位收紧体系采用大吨位连续千斤顶，定位过程中，通过计算机控制，实现多向同步快速调整。整套定位系统，拆装方便、受力明确，不仅适应了大吨位水平力的要求，而且施工过程中，快速多向调整，较好的保证了沉井的姿态。

沪通长江大桥主墩沉井基础施工是整个沪通铁路的关键控制点之一，规模居国内前列，施工难度和施工风险较大。为了促进该施工方法在我国类似桥梁工程项目中得到推广应用，根据沪通长江大桥主墩沉井定位施工实践经验特编制本工法，供今后同类型沉井基础施工参考借鉴。

## 2、工法特点

2.1、主锚采用大直径钢管桩，安拆方便，充分依靠桩周土抗力来提供水平力和上拔力，且拉缆的锚固点设置在河床面上，大大减小了钢管桩自身结构承受的弯矩，受力明确。

2.2、主锚采用两层设计，一层通过沉井顶面的导缆器直接与水中钢管桩相连，另一层通过上、下导向轮，将沉井顶面钢丝绳引入水下，再与钢管桩相连，形成立体的定位体系，一方面增大沉井定位系统刚度，防止沉井摆动，另一方面能够适应水流的变化。

2.3、为了保证大直径钢管桩的受力，在锚固点范围，对钢管桩进行加固，同时采用限位装置，使锚固点位于河床表面，保证钢管桩受力。钢管桩插打完毕后，对钢管桩处河床进行防冲刷防护，避免河床冲刷对钢管桩受力产生影响。

2.4、边锚采用蛙式混凝土重力锚，岸上预制施工。形成锚碇系统后，利用重力抵抗沉井侧向水流阻力，保证沉井姿态的稳定。

2.5、沉井定位收紧系统采用 350t 连续千斤顶（28 号墩 16 台、29 号墩 18 台）作为动力输出。通过计算机控制，同步控制所有连续千斤顶的张拉和放松，调整沉井平面位置和顶面高差的控制，保证了沉井姿态，定位精度高。

2.6、定位系统拉缆由钢丝绳+钢绞线组成，钢丝绳设置专门的连接索节，便于钢丝绳的挂设和连接。钢丝绳与牵引钢绞线束通过钢结构连接结构、工具锚、P 型锚及防松脱夹板进行连接。钢绞线与 350t 连续千斤顶进行连接，输出定位动力。主锚拉缆由钢管桩端

的主缆绳圈和沉井顶面连续千斤顶端缆绳两个部分组成，边锚边缆由水下重力锚端钢丝绳和沉井顶面连续千斤顶端钢丝绳两个部分组成，两部分绳头均通过索节对接。

2.7、为防止钢丝绳受力后旋转带动钢绞线束打绞，在钢沉井顶面设置钢丝绳与钢绞线接头牵引滑道，避免钢丝绳、钢绞线产生扭转。

2.8、钢沉井定位系统的形成原则：先完成上游侧全部主锚拉缆的连接，再完成下游主锚拉缆的连接，最后自上游开始依次对称完成两侧边锚拉缆的连接工作。

2.9、钢沉井下沉的过程中，在井壁及隔舱内对称、均匀注水下沉，对沉井的方位和扭转角度、垂直度进行实时监测，及时用定位系统进行调整，沉井每下沉 10m 进行一次位置和拉缆张力的调整。

2.10、当沉井距实际河床面 6m 时进入沉井精确定位的准备阶段，钢沉井开始准备着床。定位系统及时修正沉井位置和姿态，等待合适的时机，选择在流速小、低平潮阶段快速注水下沉，实现沉井精确定位状态下的快速着床。

### 3、适用范围

3.1、适用于深水、水流流向复杂、水流力大的大型钢沉井基础。

3.2、适用于位于航道或深水区域的大型钢套箱、双壁钢吊箱围堰结构。

### 4、工艺原理

#### 4.1 大直径钢管桩锚碇系统及液压千斤顶多向快速定位技术

锚碇系统由大直径钢桩、混凝土蛙式重力锚、钢丝绳和钢绞线、导缆器、转向座和顶面收紧系统等组成。由于沉井受双向水流影响，因此其上下游均为主锚。主锚采用大直径钢桩，边锚采用混凝土蛙式重力锚，与钢沉井之间用直径 110mm 钢丝绳连接。主锚的钢丝绳分两段，下段拉缆绳套通过一种可以上下活动的装置，锚固在钢桩河床面处，这样可以充分依靠桩周土抗力来提供水平力和上拔力，从而进行定位锚固。

在距离沉井中心上下游 200m 处插打直径 3.5m，壁厚 32mm 的钢桩。在靠近河床面的局部范围内，对钢桩内壁进行局部加强。在沉井南北侧方向，距沉井中心 219m 位置处，各设 4 个 900t 混凝土蛙式重力锚做为边锚。每个钢桩和重力锚均提供 300t 水平力。在沉井顶面，沿纵横向隔仓共布置 16（18）套 3500kN 连续千斤顶和 16（18）套液压泵站以及计算机控制系统和附件等，共设 8（9）个控制点和一个控制柜，每个控制点控制两台千斤顶，既可同步作业，又可一组单独作业，以实现纵桥向、横桥向以及平面扭角三个自由度的快

速调整。

## 4.2 钢沉井过缆施工

在钢沉井上将钢缆绳、缆绳导向装置、线缆转换装置和连续千斤顶等定位装置安装完毕后，钢沉井即可正式出坞。在主墩钢沉井浮运到墩位之前，需提前将钢沉井定位钢桩插打完成及重力锚抛锚完成。钢沉井经浮运到达墩位后，先由浮运拖带拖轮临时拖带稳定在墩位处。同时现场开始进行钢缆绳挂设施工，挂设顺序为上游内侧主缆→上游外侧主缆→下游内侧主缆→下游外侧主缆→下游内侧边缆→下游外侧边缆→上游内侧边缆→上游外侧边缆。

## 4.3 钢沉井定位着床

钢沉井锚碇系统形成后，钢沉井开始定位着床。钢沉井首先进行初定位，将沉井顶面、底面中心与设计中心偏差在任何方向不得大于 1m。然后在钢沉井井壁及隔舱内对称、均匀注水下沉，在注水过程中，对沉井的方位和扭转角度、垂直度进行监测，及时用拉缆张拉系统进行调整，沉井每下沉 10m 进行一次位置和拉缆张力的调整。

沉井在下沉的过程中，冲刷深度考虑为 6m。计算中的河床面为实际冲刷后的河床面，当沉井距实际河床面 6m 时进入沉井精确定位的准备阶段，此时须根据河床冲刷、流速等情况重新计算沉井精确定位所需的各拉缆张力、预偏量等值，等待合适时机进行调整和确认。当沉井注水下沉至距河床 4m 后，开始实施精确定位，调整各拉缆索力，根据设定的预偏量，调整沉井的轴线、扭角及倾斜度等参数，选择在小流速、低平潮阶段快速注水下沉至距河床 2m，再次确认沉井定位精度后，继续加大注水速率，将沉井快速下沉至河床面，完成沉井的定位着床施工。

## 5、施工工艺流程及操作要点

### 5.1 大直径钢管桩锚碇系统及液压千斤顶多向快速定位技术

#### 5.1.1 施工工艺流程

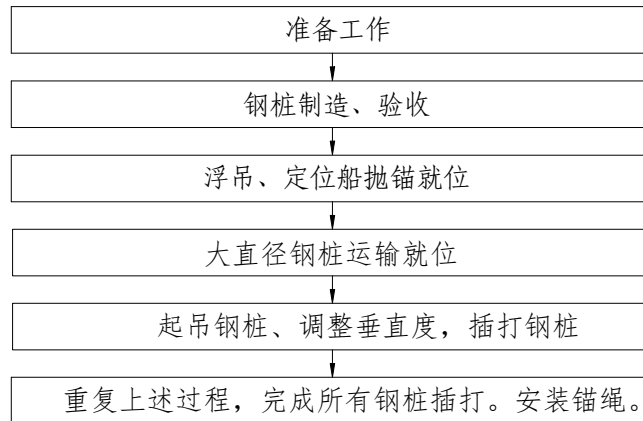


图2 钢桩制造、施工工艺流程

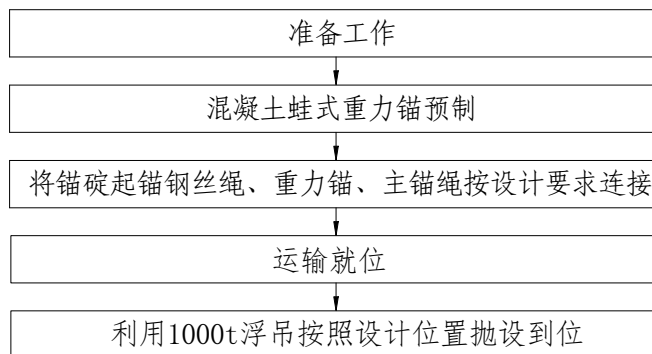


图3 混凝土蛙式重力锚制造、施工工艺流程

#### 5.1.2 操作要点

(1) 锚碇系统总体布置：锚碇系统由大直径钢桩、混凝土蛙式重力锚、钢丝绳和钢绞线、导缆器、转向座和顶面收紧系统等组成。28#（29#）墩钢沉井定位系统布置形式为：距离沉井中心上下游方向各 200m 的位置布置 4 根（上游 6 根、下游 4 根）大直径钢桩构成主锚，距钢沉井中心南北方向 219m 的位置各布置四个混凝土蛙式重力锚组成边锚，锚桩及锚碇与钢沉井之间用钢丝绳连接。

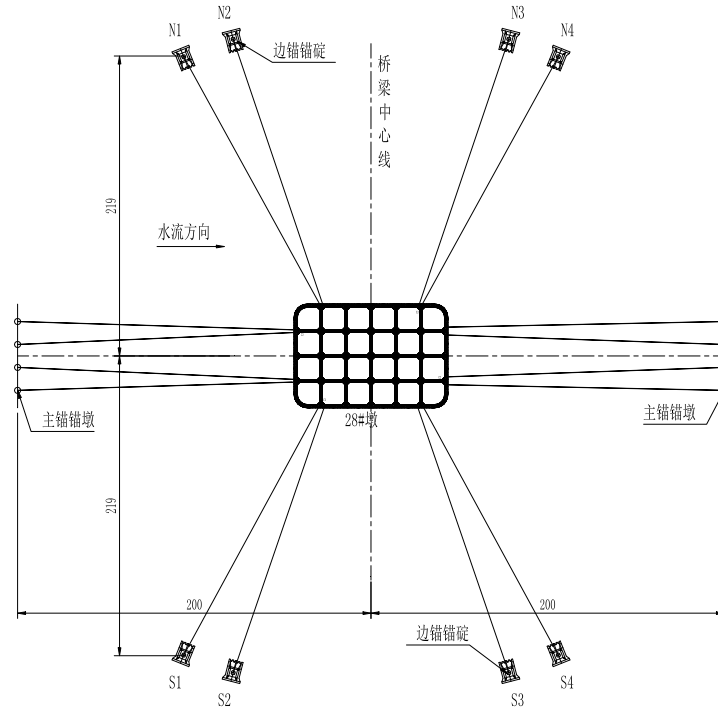


图 4 28#墩沉井锚碇系统布置

(2) 钢沉井顶面布置：定位收紧系统布置在钢沉井顶面。根据受力大小，分别在 28#墩沉井、29#墩沉井顶面，沿纵横向隔仓共布置 16 (18) 套 3500kN 连续千斤顶和 16 (18) 套液压泵站以及计算机控制系统和附件等，共设 8 (9) 个控制点和一个控制柜，每个控制点控制两台千斤顶，既可同步作业，又可一组单独作业，以实现纵桥向、横桥向以及平面扭角三个自由度的快速调整。

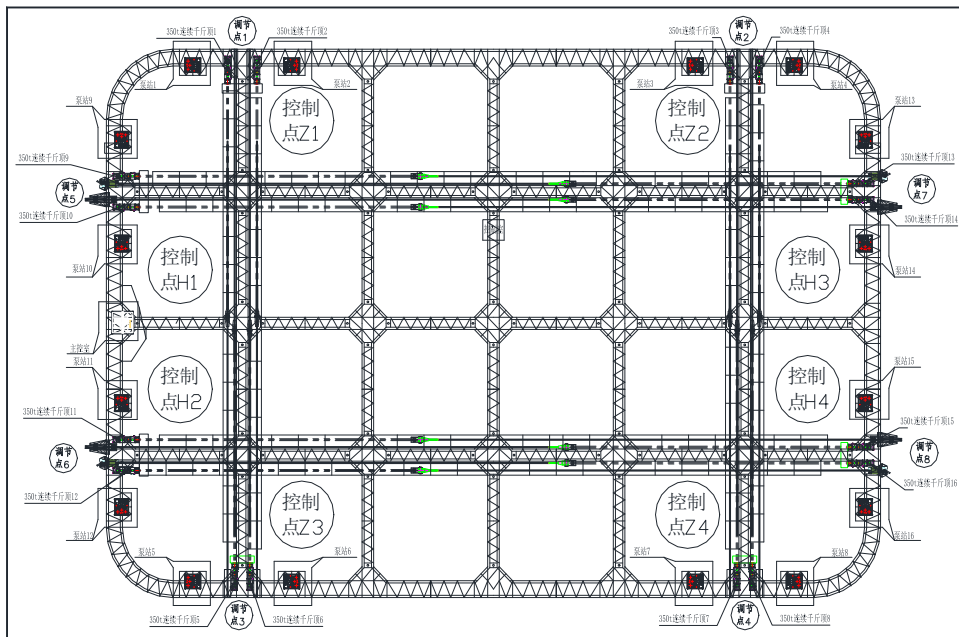


图 5 28#墩钢沉井顶面布置

(3) 大直径钢桩的制造及施工：大直径钢桩材质为 Q345，直径 3.5m，壁厚 32mm。28#墩单根钢桩长 53m，总重 167.8t；29#墩钢桩长 65m，总重 200.6t。钢桩在锚固处进行局部加固，保证受力安全。大直径钢桩在工厂进行整体制造，制造验收完成后，运输至设计位置进行插打。插打的过程中，在定位船(150t 浮吊)甲板上安装定位架，采用两台 APE400 振动打桩锤、1000t 浮吊一次性将钢桩插打至设计的深度。钢桩插打完成后，对钢桩周边河床进行抛石防护。

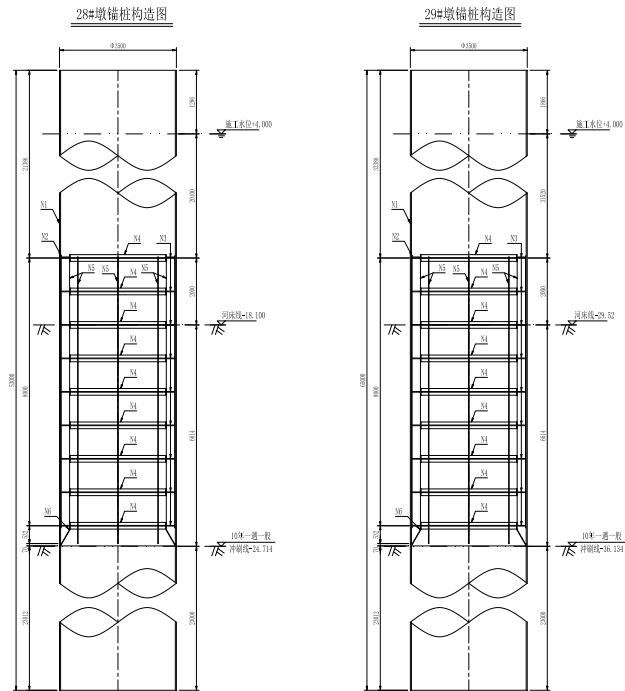


图 6 28、29#钢桩构造



图 7 大直径钢桩插打

(4) 混凝土蛙式重力锚的预制及抛设：混凝土蛙式重力锚在江边船厂区码头进行预制，一方面原材料等获取方便，易于施工，另一方面，利用船厂大型起吊设备，便于转运下河。利用 1000t 浮吊起吊装船，重力锚采用 4000t 驳船运输，运输至设计位置后，由 1000t 浮吊起吊抛设。由于重力锚有方向性，其刃齿方向需沿拉缆方向，正对沉井中心，因此通过调整 1000t 浮吊与墩中线的夹角来调整重力锚的方向。将  $\Phi 110\text{mm}$  钢丝绳呈“之”形盘放在 800t 平板驳船上，分段打梢固定，抛锚后采用两台 5t 卷扬机交替放绳。抛设到位后，将主拉缆、重力锚起吊绳牵引至钢桩旁的工作船上，临时固定后喷涂编号，并做好记录。按后抛的锚先过绳、先抛的锚后过绳原则，避免拉缆打绞。



图 8 重力锚抛设

(5) 定位系统的连接：钢桩（重力锚）与钢沉井之间用直径 110mm 钢丝绳连接。主锚的钢丝绳分两段，下段拉缆绳套通过一种可以上下活动的装置，锚固在钢桩河床面处（考虑了 6m 的局部冲刷），这样可以充分依靠桩周土抗力来提供水平力和上拔力。上段拉缆经导缆器或转向座后，在沉井顶面通过锚座跟钢绞线连接，最后进入 3500kN 连续千斤顶。为防止钢丝绳受力后产生的扭转对钢绞线造成不利影响，在隔仓顶面做了防扭支架以约束连接锚座。为使主锚和沉井受力合理，并增大系统刚度，主锚采用双层设计，即外侧主锚通过沉井顶面的转向座后，直接锚固于钢桩，称上拉缆；而内侧主锚则通过沉井顶面的转向座后沿井壁向下，经导缆器后，再与钢桩相连，称下拉缆。沉井浮运至墩位后，通过上下段绳头索节的快速对接实现沉井过锚定位。导缆器可以横向转动，以适应沉井横水流方

向的位移，后期可拆除。

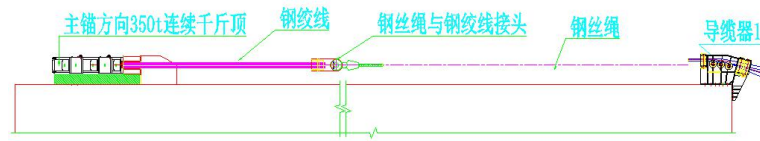


图9 上拉缆绳布置

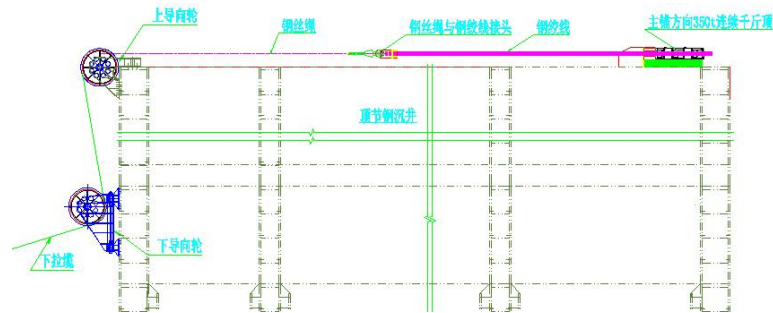


图10 下拉缆绳布置

## 5.2 钢沉井过缆施工

### 5.2.1 施工工艺流程

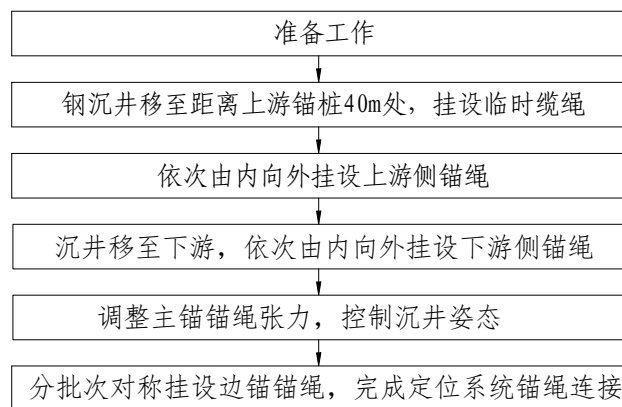


图11 钢沉井过缆施工工艺流程

### 5.2.2 操作要点

(1) 过缆施工总体步骤：钢沉井浮运至墩位后，先完成上游侧全部主锚拉缆连接，再完成下游主锚拉缆连接，最后以“左右对称、先下游后上游”的原则完成两侧边锚拉缆的连接工作。

(2) 过缆前缆绳的布置：钢沉井锚碇系统施工完毕，主缆（Z1#~Z8#）及边缆（B1#~B8#）均过渡到定位船上，并喷涂编号、记录在册。锚桩旁的定位船共4艘，分别停靠在主锚钢桩内侧，并与钢桩系缆连接。

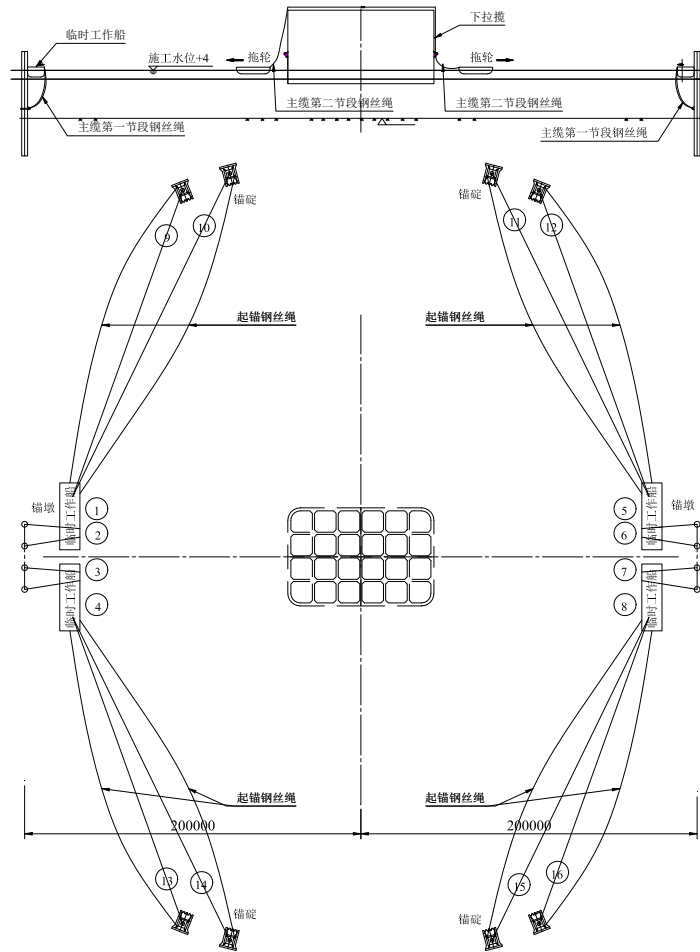


图 12 钢沉井过缆前缆绳布置 (28#墩为例)

(3) 过缆浮吊站位：缆绳挂设采用 150t 全回转浮吊起吊。为提高效率，过缆时投入 4 台 150t 浮吊，其中 2 台负责上游侧拉缆挂设，2 台负责下游侧拉缆挂设，既减少浮吊移位时间，又能同时挂设 2 根拉缆，缩短过缆时间。

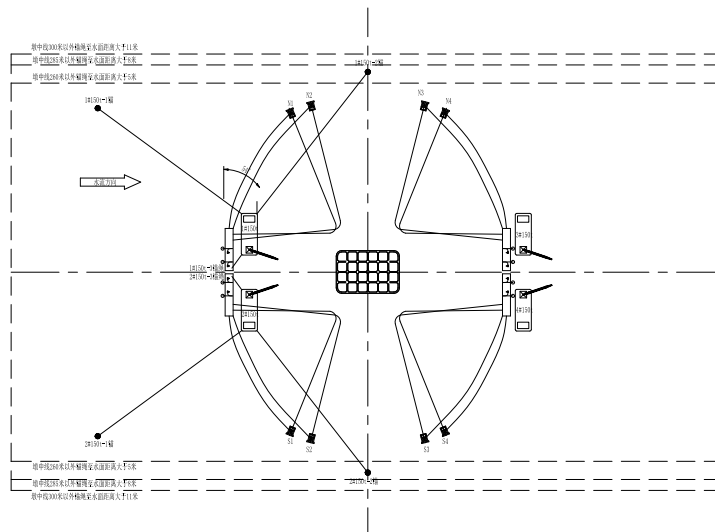


图 13 浮吊站位示意

(4) 主锚挂设：当钢沉井被顶推至距上游锚桩约 40m 时，先挂设临时拉缆，再利用 150t 浮吊将吊挂在沉井上的中间 2 根下拉缆索节拖带至临时工作船上，并将该拉缆索节与预先临时打稍固定在船上相应的 Z1 钢丝绳的索节连接。按上述方法依次完成上游其余主锚拉缆的连接。上游主锚拉缆连接后解除临时拉缆。

在拖轮的控制下，将钢沉井拖带至设计墩位下游约 20~30m 处，利用连续作业千斤顶调整上游各拉缆索力，使各索力基本相等并控制在 30t 左右。然后挂设下游临时拉缆，退出下游的顶推拖轮，按先中间后两侧的顺序对称挂设下游 4 根主锚拉缆。

下游 4 根主锚拉缆连接后，解除临时拉缆。利用两侧 4 艘拖轮将钢沉井拖带至设计墩位，启动连续千斤顶对已连接好的上下游主锚各拉缆进行预张拉，各拉缆索力按设计吨位进行控制。

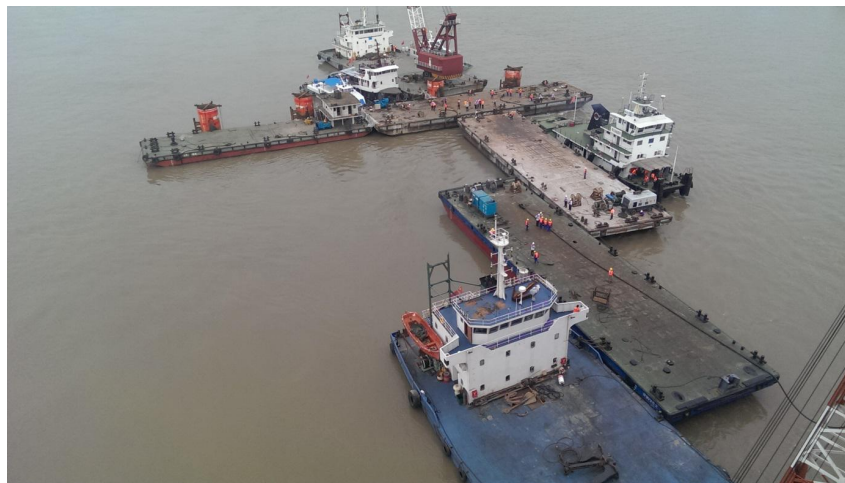


图 14 主锚拉缆挂设船舶布置

(5) 边锚挂设：驳船在锚桩处临时工作船附近靠泊，将牵引绳（ $\Phi 40\text{mm}$ ）与驳船系缆柱连接，准备将通过驳船将临时缆绳拖拉至沉井附近。通过驳船将牵引绳拖拉至沉井附近，150t 浮吊将  $\Phi 40$  临时缆绳吊至沉井顶面。作业人员将缆绳通过导缆器、千斤顶分配梁、卷扬机转向轮固定至卷扬机卷轴上，浮吊缓慢松钩。通过沉井顶面卷扬机牵引，将边缆缆绳绳头牵引至沉井顶面导缆器处，通过 150t 浮吊将边锚拉缆接头起吊过转向轮，在沉井井壁上通过倒链连接事先安装在边缆上的哈弗夹，使边缆临时固定，通过 150t 浮吊作业将边缆缆绳与钢绞线接头连接，连接方式为销接，完成单根边缆挂设。重复上述步骤，依次从下游至上游完成边锚拉缆挂设。



图 15 边锚拉缆挂设

### 5.3 钢沉井定位着床

#### 5.3.1 施工工艺流程

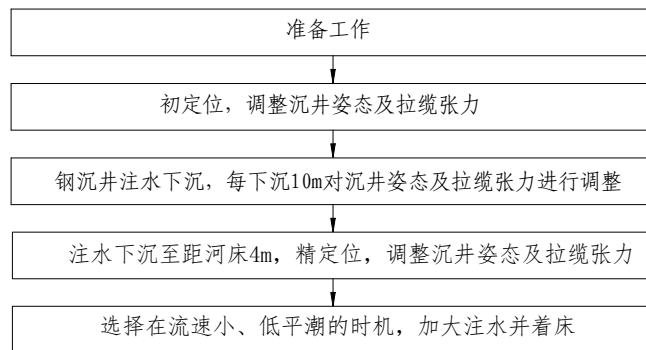


图 16 钢沉井定位着床工艺流程

#### 5.3.2 操作要点

(1) 初定位：钢沉井初定位使得沉井顶面、底面中心与设计中心偏差在任何方向不得大于 1m。

沉井姿态调整顺序：倾斜度调整→平面扭转调整→横桥向平面位置调整→顺桥向平面位置调整。调整主锚上、下拉缆及边锚拉缆，对钢沉井的倾斜度和平面扭角进行调整，使得钢沉井倾斜度满足 1/150，平面扭转角度不大于 1° 的定位要求，然后再精调各拉缆的受力，使得钢沉井横桥向偏位满足不大于 1m 的要求。根据拉缆收紧系统计算出的各锚绳及沉井姿态偏差及调整指令，由于主锚上、下拉缆的长度调整以及钢沉井位置的变化引起了钢沉井边锚的受力变化，在主锚上、下拉缆调整到位后将边锚锚绳对称、均匀收紧，此

阶段对钢沉井的倾斜度和平面扭角进行控制，使得钢沉井倾斜度及平面扭角满足定位要求，然后再精调各锚缆的受力，使得钢沉井顺桥向偏位满足不大于 1m 的要求。调整主、边锚各拉缆受力，将各锚绳的受力调至均匀。同类型锚绳受力差值控制在 10%左右。

(2) 注水下沉：考虑到沉井吃水深度、河床标高、沉井壁容许水头差（10m）以及冲刷等因素，在 28#墩钢沉井上共设置 3 层进水阀，29#墩钢沉井上设置 4 层进水阀，每层 35 个。对钢沉井井壁及隔舱内对称、均匀注水下沉，在注水过程中，对沉井的方位和扭转角度、垂直度进行监测，及时用锚绳张拉系统进行调整，沉井每下沉 10m 进行一次位置和锚绳张力的调整。钢沉井注水下沉操作要点：

- a、进水阀必须每个隔舱一套，开启施工时必须同步开启或关闭。
- b、进水阀初始处于关闭状态，着床时，根据需要开启。
- c、当隔舱内水位到达进水阀以下 0.5m 时，即关闭该层进水阀。此时，根据现场实际情况，进行沉井再次精确定位或者打开上层进水阀继续注水，直至沉井着床。
- d、注水时必须保证井壁承受的水头差不得大于 10m。
- e、沉井着床后，需根据沉井姿态，在较高侧隔舱内继续注水，以调整沉井垂直度。
- f、进水阀在井壁混凝土灌注之前必须关闭，以防漏浆。

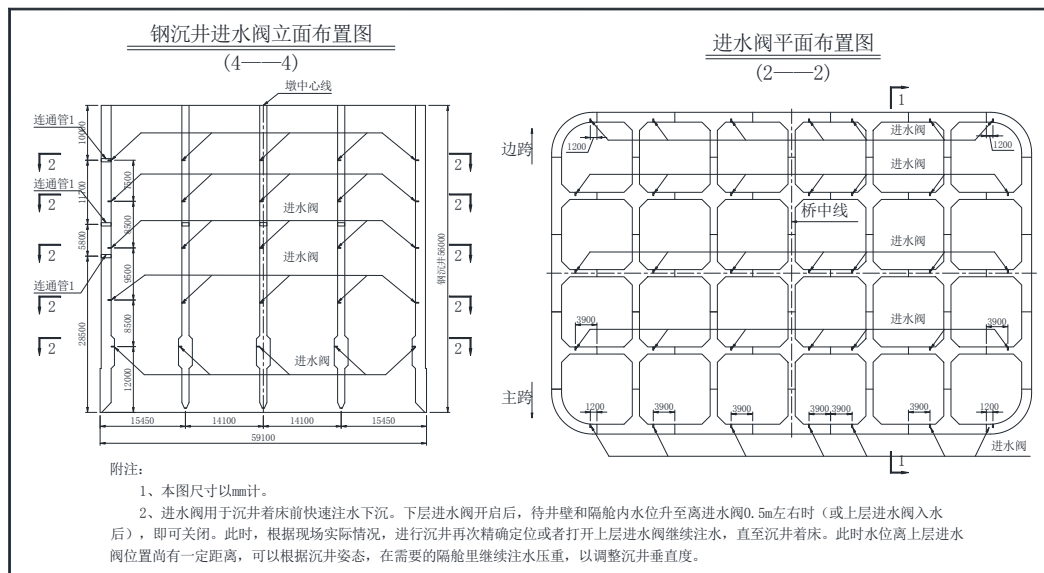


图 17 钢沉井进水阀布置

(3) 钢沉井精确定位及着床：当沉井距实际河床面 6m 时进入沉井精确定位的准备阶段，根据河床冲刷、流速等情况重新计算沉井精确定位所需的各拉缆张力、预偏量等值，等待合适的时机。当沉井注水下沉至距河床 4m 后，开始实施精确定位，调整各拉缆索力，根据设定的预偏量，调整沉井的轴线、扭角及倾斜度等参数，选择在小流速、低平潮阶段

快速注水下沉至距河床 2m，再次确认沉井定位精度后，继续加大注水速率，将沉井快速下沉至河床面，完成沉井的定位着床施工。

在沉井快速下沉着床过程中，收紧系统跟随作业，及时修正沉井位置和姿态，实现沉井精确定位状态下的快速着床。沉井下沉着床及定位调整过程中，必须对墩位处的水流流速、水位变化、河床冲刷、沉井锚碇系统受力等做好监测记录。

钢沉井精确定位要求：沉井顶面、底面中心与设计中心偏差在任何方向不得大于 77cm，倾斜不得大于 1/150，平面扭转角不得大于 1°。29#墩钢沉井的定位着床的预偏量设置值为：沉井刃脚中心偏下游 20cm，南北侧不设预偏量。

主墩钢沉井定位系统施工所需劳动力配置情况如下：

表 1 钢沉井定位着床配备表

序号	职务	人数	负责内容
1	施工项目负责人	1	总体负责
2	生产负责人	1	全面负责生产组织
3	技术负责人	1	全面负责技术管理
4	质量安全负责人	1	全面负责安全质量管理
5	技术员	6	现场技术工作
6	质检员	4	现场质量督察
7	安全员	4	现场安全工作
8	材料员	2	现场物资供应、回收
9	试验员	2	现场试验工作
10	领工员	2	现场生产监督协调
11	工班长	8	现场生产领班
12	测量员	4	钢沉井制造测量工作
13	现场管理人员	30	现场施工管理
14	操作工人	100	
合计		166	

## 6、材料与设备

主墩钢沉井定位系统施工所需主要机具设备如下，其配置数量及技术性能根据具体的工程要求选定。

表 2 主墩沉井定位系统施工设备机具配置表

序号	设备名称	规格型号	单位	数量	备注
1	浮吊	1000t	艘	1	海字号
2	浮吊	150t	艘	2	全回转

	浮吊	1800t	艘	1	混凝锚装船
3	抛锚艇带拖	1200 马力	艘	1	海龙号
4	拖轮	500hp	艘	1	配合驳船
5	拖轮	600hp	艘	1	配合驳船
6	交通船	50 人	艘	1	人员运输
7	驳船	4000t	艘	1	重力锚运输
8	驳船	1200t	艘	1	钢桩运输
9	驳船	800t	艘	4	锚墩缆绳、材料运输
10	驳船	1000t	艘	1	钢桩插打定位船
11	APE400 打桩锤	APE400	台	2	配联动架
12	打桩锤	DZ120	台	1	配合稳桩
13	GPS 定位		套	1	测量定位
14	水深测量仪		台	1	测量水深
15	发电机	500kW	台	2	沉井定位
17	电焊机	BX5	台	4	
18	气割设备		套	1	
19	警示灯	220V	套	1	航道警示
20	连续千斤顶	350t	套	26	两套备用，期间闲置 1.5 个月
21	清水泵	200m <sup>3</sup>	台	12	沉井下沉着床时舱内补水
22	多级离心泵	60m <sup>3</sup>	台	35	沉井下沉着床时舱内补水

## 7、质量控制

7.1、在正式施工之前，组织相关人员进行安全技术交底，确保每个参与施工的人员对质量控制要点及措施有所掌握。

7.2、对采购进场的原材料、成品及半成品要有出厂合格证并由质检工程师组织质量、技术、材料部门及施工队的有关人员进行验收合格后方可使用。

7.3、钢桩焊接场地必须在施工前用水准仪进行抄平，确保钢桩的顺直度。

7.4、钢桩焊接时所用的焊材、焊接环境、焊接工艺严格按照《铁路钢桥制造规范》执行。

7.5、钢桩焊接挑选有上岗合格证、操作熟练的工人进行。

7.6、钢桩焊接完成后，由质检工程师对焊缝进行外观检测，对加固区域进行构造和外观检查，确保符合图纸和规范要求。

7.7、钢桩吊装时，必须使用专用吊具，严格按照吊装方案进行，防止变形。

7.8、钢桩在装船时，下方用木方进行抄垫密室，木方间距控制在 2m 以内。

7.9、钢桩插打时，利用附着在浮吊上的简易定位框粗定位，利用 GPS 进行精确定位，控制桩中心误差在 50cm 以内；利用铅垂线控制钢桩的垂直度，在钢桩入土 2~3m 时，测量钢桩垂直度，进行初次调整，控制在 1%以内，调整时适当将钢桩顶端向远离沉井中心方向倾斜，利于钢桩受力。

7.10、钢桩插打最终桩尖标高以入土深度控制为主，难以达到标高时，采取吸泥辅助下沉措施。

7.11、混凝土蛙式重力锚选取地基承载力大于 150kpa 的制造场地进行施工，防止发生由于地基承载力不足而引发的不均匀沉降影响重力锚制造质量。

7.12、混凝土蛙式重力锚下部内腔底模，采用砖混结构成型，然后上盖三合板，外包塑料布做隔离层，确保结构尺寸符合图纸要求。

7.13、混凝土蛙式重力锚齿尖钢结构部分，在场内预制，检查合格后方可使用；侧面开排气孔，确保混凝土密实。

7.14、混凝土蛙式重力锚的预埋吊点、锚点预埋时，先安装辅助定位架，各类预埋件必须严格按照图纸尺寸预埋。

7.15、混凝土浇注过程中，分层振捣密实，预埋件附近采用小型振捣棒加强振捣，振捣棒不得直接接触各预埋件。

7.16、模板安装前涂抹脱模剂，混凝土强度设计强度后，方能拆除模板；混凝土强度达到 90%时，方能吊装。

7.17、混凝土蛙式重力锚运输时，在驳船上用型钢进行抄垫，防止损坏混凝土锚的棱角。

7.18、抛锚时，利用 GPS 进行精确定位，控制误差在 1m 范围内。

7.19、抛锚按照施工工艺调整浮吊的方向，确保混凝土锚的轴线方向与拉缆在一条直线上。

7.20、混凝土蛙式重力锚选取平潮时入水，尽量减小由于水流作用而发生的漂移，保证着床的精度。

7.21、主锚及边锚拉缆与钢沉井连接之后，调整各拉缆受力，保证锚碇系统受力均匀、安全。

7.22、在沉井发生倾斜或者摆幅较大等情况下，必须随时观测拉缆情况，并且做出调整，以避免拉缆遭到破坏。

## 8、安全措施

### 8.1、钢沉井锚碇系统施工安全措施

1、各大、中型机具设备的进场，均要进行认真检查验收，填写验收记录，进场的设备要有安全操作规程。

2、现场的大、中型机具设备必须有专人负责，起重吊装作业必须有专职指挥，持证上岗。

3、现场负责指挥的人员和重力锚抛锚有关的施工人员均配备对讲机，所有人员频道统一，且保持全天信号通畅。

4、吊装用钢丝绳在每次投入施工，正式吊装之前先对其进行肉眼检查。绳端或其附近出现断丝时，即使数量很少也应查明损坏原因。如果绳长允许，应将钢丝绳切短重新安装绳端装置，若问题无法解决应停止吊装，更换钢丝绳。

5、在重力锚锚头正下方安装临时施工平台，并采用标准栏杆进行围挡，保证钢缆绳安装人员的安全和施工的简便。

6、重力锚装船前提前安装好重力锚抄垫，抄垫与船体焊接牢固。重力锚装船落钩时需控制浮吊落钩速度，调整重力锚方向，使重力锚缓慢平稳得落于重力锚抄垫之上。

7、钢桩吊装前需在运输船上事先安装限位装置，防止钢桩运输过程中发生滚动。

8、钢丝绳临时打销采用标准卸扣、导链，不可随意缠绕、打结。

### 8.2、钢沉井定位着床安全措施

1、通过调整钢沉井拉缆张力、利用拖轮辅助，避免钢沉井横向摆动过大。

2、钢沉井精确定位后，选择水流流速小、流态稳定，风速小的有利时段，在井壁和隔舱内快速注水，实现快速着床。

3、在墩位处进行河床防护，避免较大冲刷造成着床后沉井姿态倾斜。

4、钢沉井着床后，加强对沉井姿态以及河床冲刷情况的监测，提前准备碎石以及沙袋，随时进行抛填防护。

## 9、环保措施

9.1、在施工过程中，操作人员要加强各种施工机械的维修保养，尽可能降低施工机械噪声的排放。

9.2、施工期间的废弃物、边角料分类存放，统一集中管理，配备存放垃圾专用器皿，禁止向长江和水上抛弃油类物质、污染物和塑料及其制品。

9.3、优先选用节能型的现场照明灯具，并合理布置，及时开关，在满足施工场界范围内照明需要的同时，有效节约电能。

9.4、加强施工管理工作，严格检查施工机械和施工船舶，防止油料泄漏污染周围环境。

9.5、一旦出现油污泄漏，立即查明原因，关闭有关阀门和切断管路，采取应急措施，并报告主管机关（指挥中心）。

## **10、效益分析**

### **10.1、经济效益**

本技术中的定位系统结构简洁，受力明确，操作性强。主要体现在结构中使用大直径钢丝绳，拉缆数量相比传统方案大大减小，采用连续千斤顶作为沉井姿态调整动力系统，相比传统的卷扬机调整系统快捷，定位时间缩短。连续千斤顶为社会资源，租赁方便。相比于传统锚墩方案，在结构用量上本定位系统中钢桩使用钢结构总重 2000t，比锚墩方案节省钢材 8000t。此外，与传统锚墩和定位船施工工艺相比，“钢桩+重力锚”方案实现了施工结构的工厂化、专业化、整体化制造，缩短了制造工期，保证了施工结构物的质量，同时还减少了大量的水上施工环节，大大缩短了大型机械设备的租用周期，节省了机械方面的资金投入。

### **10.2、社会效益**

基于大直径钢桩定位技术的顺利施工为沪通长江大桥主航道桥主墩沉井基础施工打下了坚实的基础。该定位系统目前在国内是首次使用，该定位系统的施工属于目前国内同类型沉井施工中首创的施工工艺，其施工规模居国内前列。该定位系统与传统方案比，结构简单，受力合理，施工方便，水面设备少，占用水域小，对航道的影响小。主墩钢沉井在整个定位的过程中，得到了监理、业主的一致肯定和社会各界同行的广泛好评，为巨型钢沉井定位着床施工积累了丰富的经验，开辟了新的思路。

## **11、应用实例**

沪通长江大桥于 2014 年 3 月开工，主墩采用倒圆角的矩形沉井基础，沉井井身顶面

平面尺寸为 86.9m×58.7m。倒圆半径为 7.45m，为方便吸泥下沉，沉井平面布置为 24 个 12.8m×12.8m 井孔，其中 28#墩沉井高 105m，钢沉井高 50m，29#沉井总高 115m，钢沉井高 56m。28 号墩沉井于 2014 年 6 月 22 日浮运到位，7 月 12 日着床，目前已全部下沉到位，正在进行封底施工。29 号墩于 2014 年 10 月 22 日浮运到位，11 月 15 日着床。从实施效果来看，该套锚碇系统确保了巨型沉井基础施工在大水流力下的安全定位和精确着床，可为类似工程借鉴。

本工法采用基于大直径钢桩锚碇系统，结构简单，受力合理，施工方便。通过大直径钢桩、大直径钢丝绳和大吨位连续千斤顶以及配套的转向和连接件，形成整套刚度大、简洁高效的千吨级锚泊定位系统，完全克服了长江中沉井和围堰施工中常见的周期性摆动难题。该系统结构简单，易于施工，可重复利用，经济性好，可广泛适用于有覆盖层、需要大吨位锚泊力的锚碇系统。