

文章编号: 0451-0712(2006)03-0012-07

中图分类号: U445.551

文献标识码: B

海上钻孔灌注桩的施工技术

应 虹¹, 周先念², 曾 越²

(1. 路桥华南工程有限公司 中山市 528403; 2. 路桥华东工程有限公司 上海市 200135)

摘 要: 海上桥梁地处开阔海域, 受海洋气候、潮汐、波流影响十分明显, 桥梁基础施工同内陆或内河相比, 无论是施工方案、施工工艺还是施工组织方面都有诸多不同之处, 本文通过对东海大桥和杭州湾大桥的海上钻孔灌注桩施工技术的研究和总结, 为今后海上钻孔灌注桩施工积累经验。

关键词: 海域; 钻孔灌注桩; 施工

海上桥梁地处开阔海域, 海上施工受水文气象的影响很大, 自然条件恶劣。经统计, 全年有效施工工作天数仅 180 d 左右, 而桥梁基础施工受海洋环境影响最为突出。因此, 对于海上桥梁施工, 解决水下基础的施工是关键。下面以东海大桥辅通航孔桥施工为例, 结合杭州湾大桥介绍海上桥梁钻孔灌注桩的施工技术。

1 东海大桥概况

1.1 工程简介

东海大桥三座辅通航孔桥均为预应力混凝土变截面连续箱梁, 跨径组合为: K6 桥, 70 m + 2 × 120 m + 70 m; K12 桥, 80 m + 2 × 140 m + 80 m; K24 桥, 90 m + 2 × 160 m + 90 m。三座辅通航孔桥主桥基础均为直径 2.5 m, 桩长超过 100 m 的钻孔灌注桩基础。

1.2 自然条件

桥位区海域, 海床较为平缓, 水深 7~11 m, 海床标高平均为 -10 m; 桥位区基底为前古生代变质岩系, 上覆燕山早期花岗岩系, 钻孔灌注桩选第 9 层 (灰色含砾粉细砂层) 为持力层。

桥位区所处海域的潮汐主要受东海前进潮波控制, 潮汐类型属非正规半日浅海潮型, 每个潮汐日有两次涨潮和两次落潮的过程, 本区海流以潮流占主导地位, 推算最大潮流速近 3.0 m/s。本海域以 NE 向作为控制浪向。

1.3 基桩设计特点

基桩设计主要考虑了海洋环境对桩基质量的影响, 主要有以下两个特点:

(1) 桩基混凝土采用强度等级为 C30 的海工高性能混凝土;

(2) 加大了钢筋笼保护层厚度, 净保护层厚度达 75 mm。

1.4 施工要求上的特点

(1) 为了防止海水对桩基钢筋笼及桩身混凝土的影响, 要求采用淡水泥浆成孔, 淡水拌制混凝土;

(2) 考虑到海上恶劣施工环境的影响, 群桩平面偏位 ≤ 200 mm, 排桩平面偏位 ≤ 100 mm。

2 海上钻孔灌注桩施工工艺特点

2.1 钻孔工作平台的设计与施工

水上钻孔灌注桩施工一般都设有钻孔平台, 固定式平台是常见的一种结构型式, 而海上钻孔平台有所不同。

(1) 要受波流作用, 当考虑风暴潮影响时, 这种作用十分强大, 经计算表明, 波浪力是海上平台结构稳定性设计的控制荷载。

(2) 因为要考虑平台作业面避免受波浪影响和护筒内保持足够的水头, 海上平台顶面标高比一般平台要高出许多。该海域 100 年一遇的高潮位为 +3.73 m, 施工中平台设计顶标高为 +9.0 m。

(3) 因为远离陆地, 海上平台既是生产基地又是生活基地, 因此平台面积比一般平台大许多, 本工程平台的平面布置如图 1 所示。

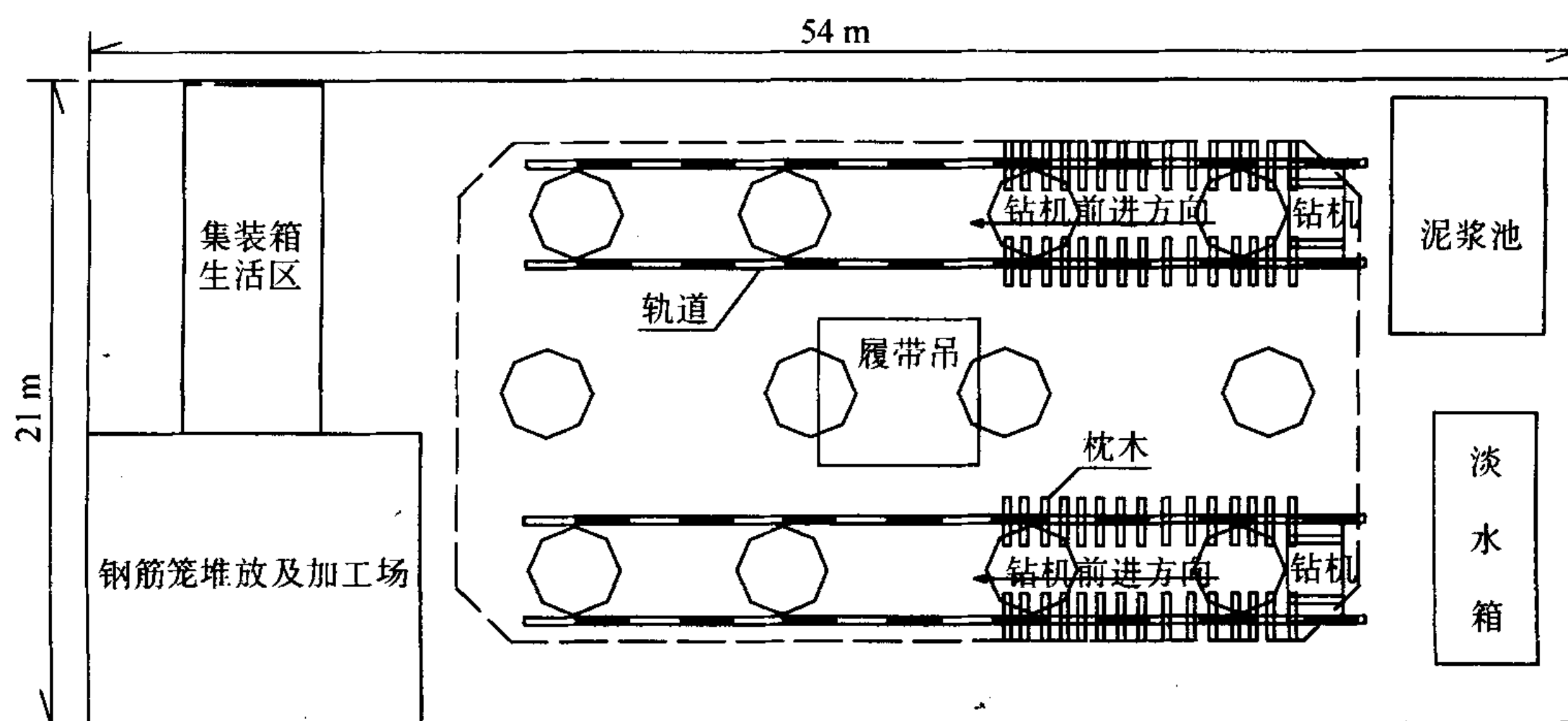


图1 平台平面布置

(4)从设计的角度看,调查研究水文水力环境,确定合适的设计洪水频率,是一个关系到技术、安全、成本的重要问题。在综合考虑的基础上,本工程平台取了50年一遇的设计洪水频率。

(5)因为受风浪潮的影响,平台搭设十分困难,是采用常规的插打钢管桩搭设平台,还是采用导管架平台,是技术与成本方面值得比较的一个问题。根

据海上水文、气象、地质条件等特点,本工程采用了插打钢管桩搭设平台方案,并采用简捷、高效的施工工艺搭设钢管桩固定式施工平台,加快了施工进度,保证了施工安全,与同在海上的导管架平台或整体浮运式平台相比,本方案节约成本约1 500元/m²,取得了良好的经济效益。固定式施工平台见图2所示。

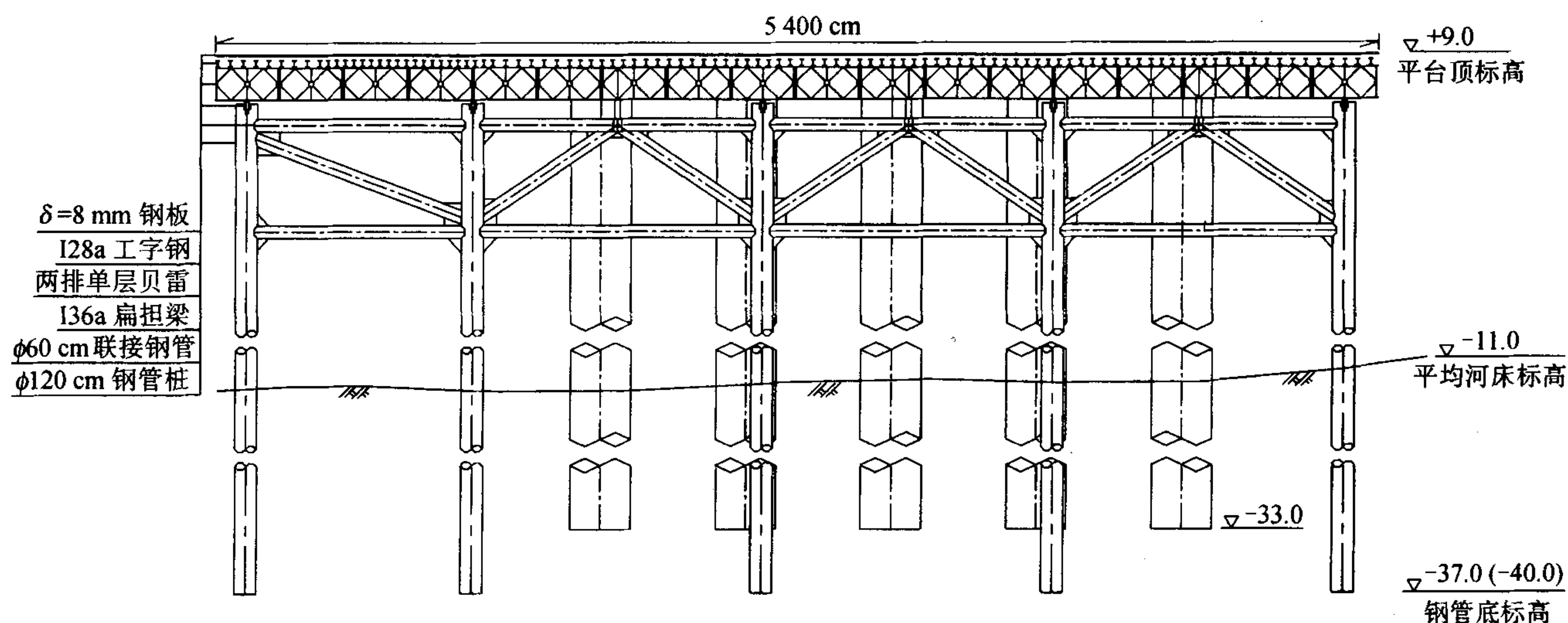


图2 固定式施工平台结构

2.2 钻孔施工

2.2.1 护筒施工

根据桥位处地质条件,护筒需穿过淤泥层,支承在密实度较好的淤泥质粘土层上。护筒的顶面标高也由上述原则确定,这样,护筒长度在36~42 m左右,护筒重约1 t/m。

根据施工技术规范要求,直径为2.5 m的桩基用直径为2.9 m的钢护筒。钢护筒采用振动打桩锤

插打,而限于平台上的起吊能力,又只能分节施打。施工规范规定护筒的倾斜度不大于1%,但长为40 m、直径2.9 m的护筒,即使达到1%的倾斜度也不能保证钻机按设计位置顺利钻进。也就是说现有规范这一条规定已不能满足海上施工需要。如果护筒直径不变,护筒倾斜度必须不大于0.5%才能保证钻机正常钻进。用振动打桩锤分节插打护筒,要保证这样高的倾斜度要求是有一定难度的。因此采取了

以下措施。

(1)用刚度好、安装精度高的双层导向架精确定位。

(2)护筒长度分节原则是:

①按平台上起重设备(50 t 履带吊)的起吊能力将护筒分成 3 节;

②为了减小波浪对护筒垂直度的影响及保证上下两节护筒的焊接质量,第一节护筒尽量不要入水或少入水,因此第一节护筒长度按 9 m 设计;

③两节护筒的长度确定原则,第二节护筒接长后,两节护筒的长度保证有一定的入土深度,使护筒在波流荷载作用下能保持稳定,因此,第二节护筒长度按 16~18 m 考虑;

(3)护筒在平台上接长后,低平潮时入水(振动)下沉。

2.2.2 护筒内水头

按规范要求,当处于潮水地区时,护筒应高于最高施工水位 1.5~2.0 m,并应采用稳定护筒内水头的措施。其含义是要求采取措施,使护筒内水头始终高出潮水位 1.5~2.0 m。但在海上要采取连通管或倒吸虹管的方法,保持护筒内水头是十分困难的,即使在泥浆船上采取这些措施,也因泥浆船无法锚泊而不可能实现。

其实,护筒内到底应有多高水头,应根据地质、成孔方法、护筒入土深度、泥浆质量等具体情况酌情而定,而不应是一个定值。道理很简单,如果用全护筒钻进可以不用水头。

东海大桥按上述原则设置钢护筒后,采用优质泥浆,反循环成孔,在整根桩的钻进过程中都能保持护筒内水头比高潮水位高 1.0~1.5 m。即采用静态水头成孔,简化了成孔工艺,加快了施工速度。

2.2.3 钻孔泥浆

(1)泥浆配制。

海上钻孔桩成孔施工的泥浆必须满足优质、防腐蚀要求。制作这种泥浆有两种方法。

方法一:在成桩施工全过程采用淡水泥浆。泥浆配合比为:

淡水 100 kg;膨润土 8 kg;CMC0.003 kg;聚丙烯酰胺 0.003 kg;纯碱 0.03 kg。

按上面配合比制作的泥浆测试的性能指标为:

比重 1.12 g/ml;

含砂率 <1%;

失水量 <17 ml/30 min;

粘度 18~22 s;

净切力 3.2 g/cm²;

胶体率 98.5%;

泥皮厚度 1.5~2.0 mm;

pH 值 9。

对于淡水泥浆中淡水来源也有几种方案:方案一是岸上的自来水用船运至施工平台;方案二是海水淡化;方案三是在施工点就地打井钻取淡水。通过对三种方案进行分析比较,方案一较为经济。

方法二:直接利用海水造浆。由于海水中含盐较多,不能采用淡水泥浆配方制作海水泥浆,必须在海水中加入一定的外加剂(主要是增粘剂),以免泥浆出现絮凝物质,确保泥浆的各项性能指标满足施工规范要求,同时还能消除海水中氯离子的影响。海水泥浆配合比为:

海水 100 kg;膨润土 10 kg;CMC0.003 kg;PAC0.05 kg;纯碱 0.05 kg。

按配合比制作的泥浆测试的性能指标为:

比重 1.13 g/ml;

含砂率 <1.5%;

失水量 <17 ml/30 min;

粘度 18~22 s;

净切力 3.2 g/cm²;

胶体率 98%;

泥皮厚度 1.5~2.0 mm;

pH 值 9.5。

以上两种方法均可满足施工要求。根据东海大桥和杭州湾大桥的经验表明,配制 1 m³ 淡水泥浆的最低成本约为 30 元(2003 年物价),而配制 1 m³ 海水泥浆的最低成本约为 15 元(2003 年物价)。由于东海大桥开始未对海水造浆进行研究,因此采用的是淡水造浆,而杭州湾大桥钻孔灌注桩是直接利用海水造浆。

所谓淡水泥浆也是相对而言,因为开孔时海水不可能全部置换掉,成孔钻进过程中,沙层中的海水也会渗透进孔内。因此,桩孔在钻进过程中,因海水不断渗透侵入,而使淡水泥浆性能指标不断弱化。实验表明:对于淡水泥浆,一定比例的海水(30%以下)对泥浆质量会有一定影响,但影响不是很明显,但如果海水比例过大对泥浆性能影响就较大。为了保证孔壁稳定,需经常用新制泥浆置换孔内泥浆。

(2)泥浆循环系统。

由于海上泥浆成本较高,且平台面积有限,因

此,海上钻孔桩施工不可能按常规设置泥浆循环系统。在经济合理的基础上,要求泥浆循环系统既要小巧实用,泥浆循环利用率又要高。施工时采用由砂浆分离器组成的泥浆闭路循环系统,效率高,占地面积小(约30 m²,同样施工环境下的常规泥浆池占地面积约60 m²),满足了上述要求,如图3所示。

基桩施工中的泥浆沉渣由泥浆船转运至指定地点排放,不得影响海洋环境。

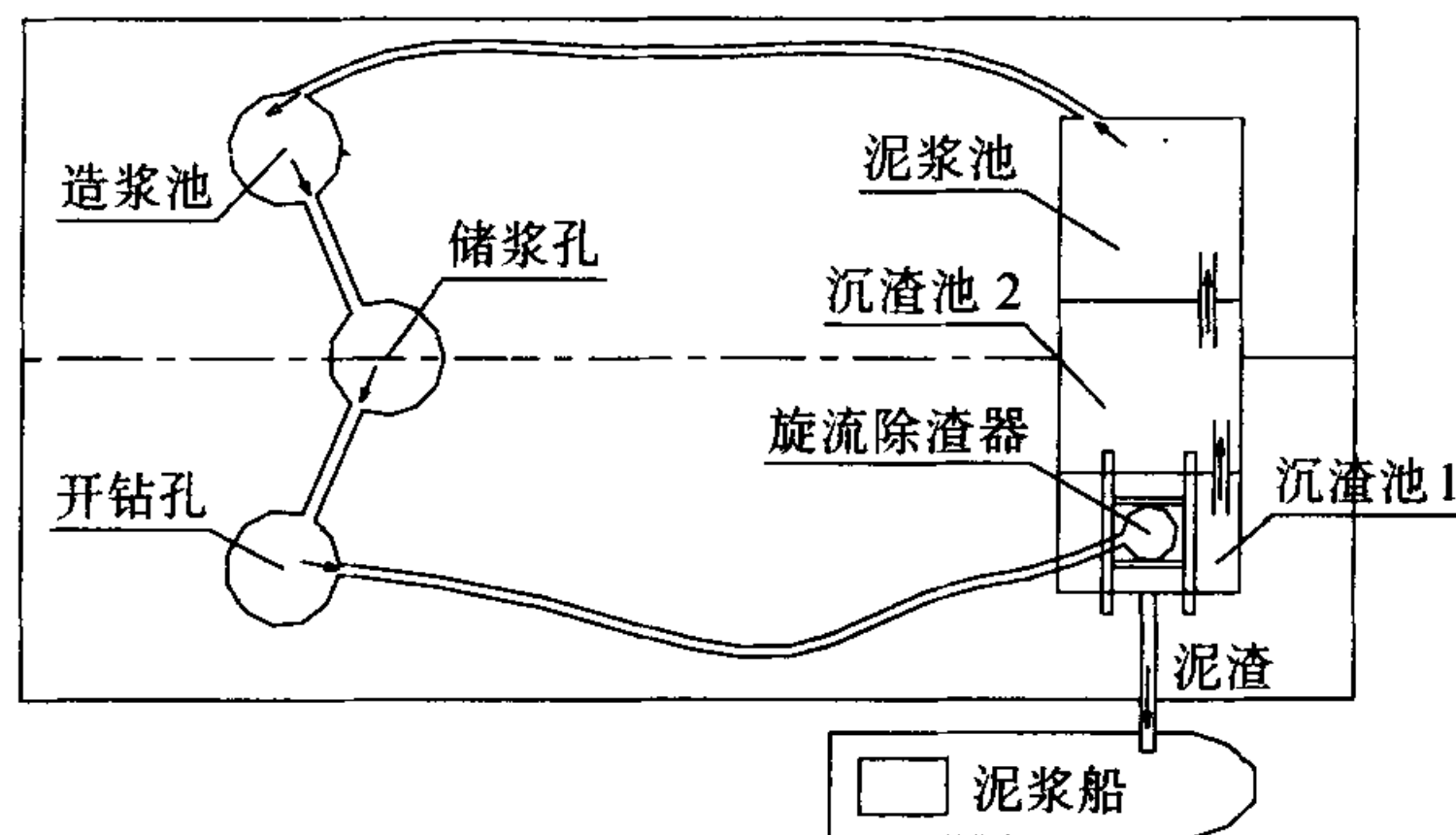


图3 泥浆闭路循环

2.2.4 承压水影响

承压水对钻孔桩施工的影响视承压水头高低及是否稳定而异。本项目地质调查报告未就承压水对钻孔桩施工的影响做出评估,也未见相关数据。但在施工过程中发现的承压水,相关资料表明承压水水头可能都在2 m以内,且相对稳定。对于群桩基础,在施工后期,由于地基土在承压水的反复作用下不断弱化(含水量增加,强度降低)孔壁稳定性越来越差,不但增加了施工难度,而且影响工期,严重的还可能因孔内外突发压力差使沙土液化穿孔而发生塌孔现象。实践告诉我们,承压水对钻孔桩施工的影响是不可忽视的。

2.3 成桩施工

成桩施工包括一清、下钢筋笼、二清、浇注水下混凝土。缩短这些工序的工作时间,是桩基施工的基本要求。海上进行超长大直径桩基施工,因受环境影响这一点就显得更加重要,而这也是难点之一。所采取的措施如下。

(1)提高一清和一清后泥浆的质量,以缩短二清时间。

只有当一清泥浆指标满足一定要求,才能保证提钻后测孔、下钢筋笼、下导管、二清在较短时间内顺利完成。因此,施工过程中对一清所需达到的主要泥浆指标做如下规定:

泥浆相对密度 ≤ 1.12 ;粘度18~20 s;含砂率 $\leq 2\%$;胶体率 $> 98\%$;pH值8~10。

实践表明:若一清泥浆指标达到要求,二清最少可缩短4~6 h。

(2)一根100余m长、重达40余t的基桩钢筋笼分7节安装。本项目采用“靠模法”节段拼装制作钢筋笼,结合等强直螺纹连接新工艺,单根桩钢筋笼安装时间比采用常规工艺节省8 h,拼装过程见图4所示。

(3)采用两艘性能稳定的100 m³/h全自动混凝土拌和船同时浇注水下混凝土,以加快浇注速度和避免因混凝土供应而产生断桩事故。

2.4 桩底压浆

试桩结果表明,通过桩底压浆可提高基桩的承载力,因此,东海大桥的钻孔灌注桩均进行了桩底压浆。在实际施工中,我们利用声测管进行桩底压浆,一物二用,方便而有效。

3 桩基施工中出现的质量问题及处理方案

3.1 护筒问题

桩基钢护筒设计内径为2.86 m,护筒外壁设竖向、环向加劲槽钢,钢护筒上下口采用20 mm厚的钢板,钢护筒允许平面偏差为50 mm。

所谓钢护筒问题,是指因钢护筒的倾斜、变形以及测量对位操作所引起的钻头刮护筒、卡钻、钻头出不了护筒等问题。实践表明,影响施工进度和工程质量的主要问题是钢护筒问题。

3.1.1 护筒问题产生原因分析

(1)钢护筒倾斜度。

造成钢护筒倾斜度较大的主要原因是:

①风、浪、潮环境对钢护筒导向的影响;

②钢护筒加工质量影响。施工中发现,少数钢护筒的上下口所在截面与护筒中轴线不垂直,对接时两节护筒轴线很难处在一条直线上,若要调在一条直线上,则护筒对接处缝隙会很大,难以保证焊接质量;

③施工过程控制不当。在护筒振沉现场,若导向架安装不垂直,上下两节护筒连接不垂直以及护筒下放时间选择不当等,均可能影响护筒的倾斜度。

(2)钻头刮护筒。

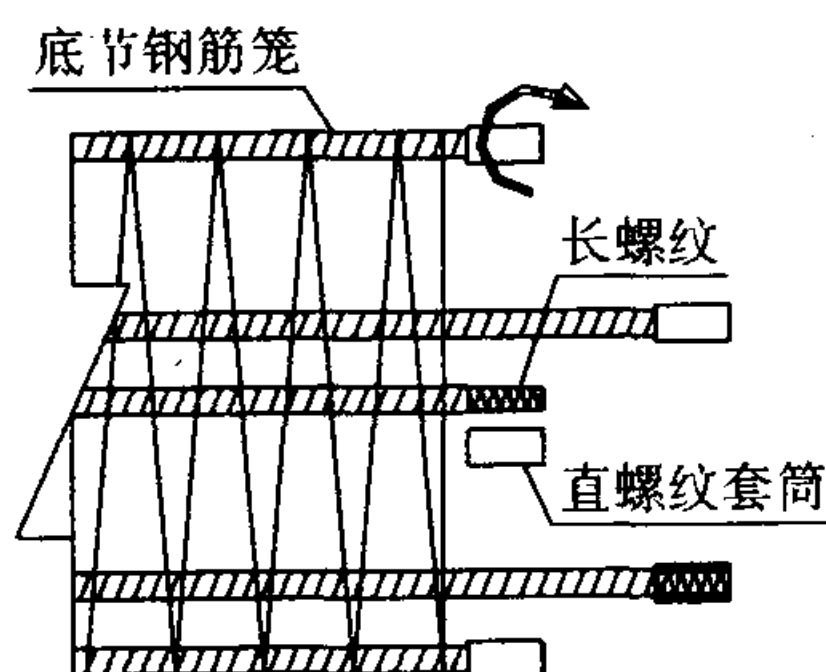
造成钻头刮护筒的主要原因是:

①钻机开孔对位时,仍按理论桩中心线对位,未考虑钢护筒的实际倾斜度;

第一步: 1 钢筋笼主筋一端滚扎长丝口

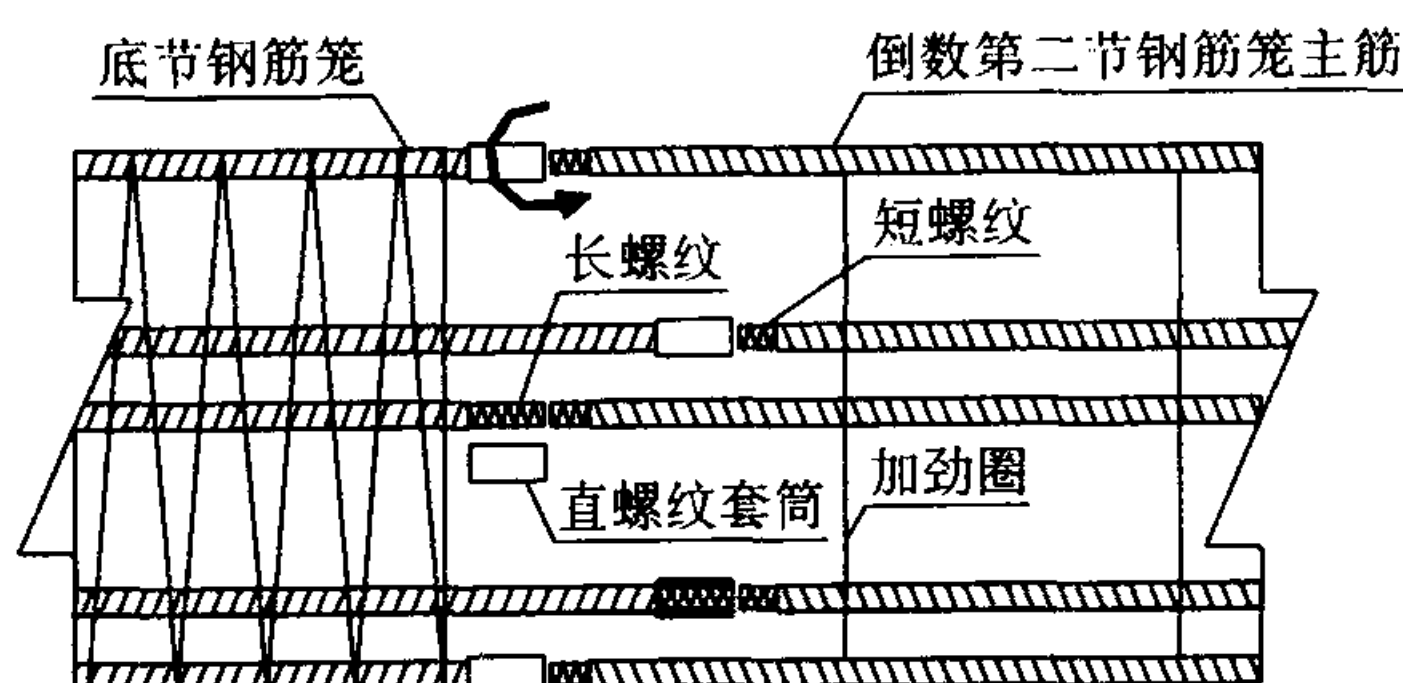
2 根据配料要求绑扎第一节底节钢筋笼

3 将直螺纹套筒旋入长丝口端



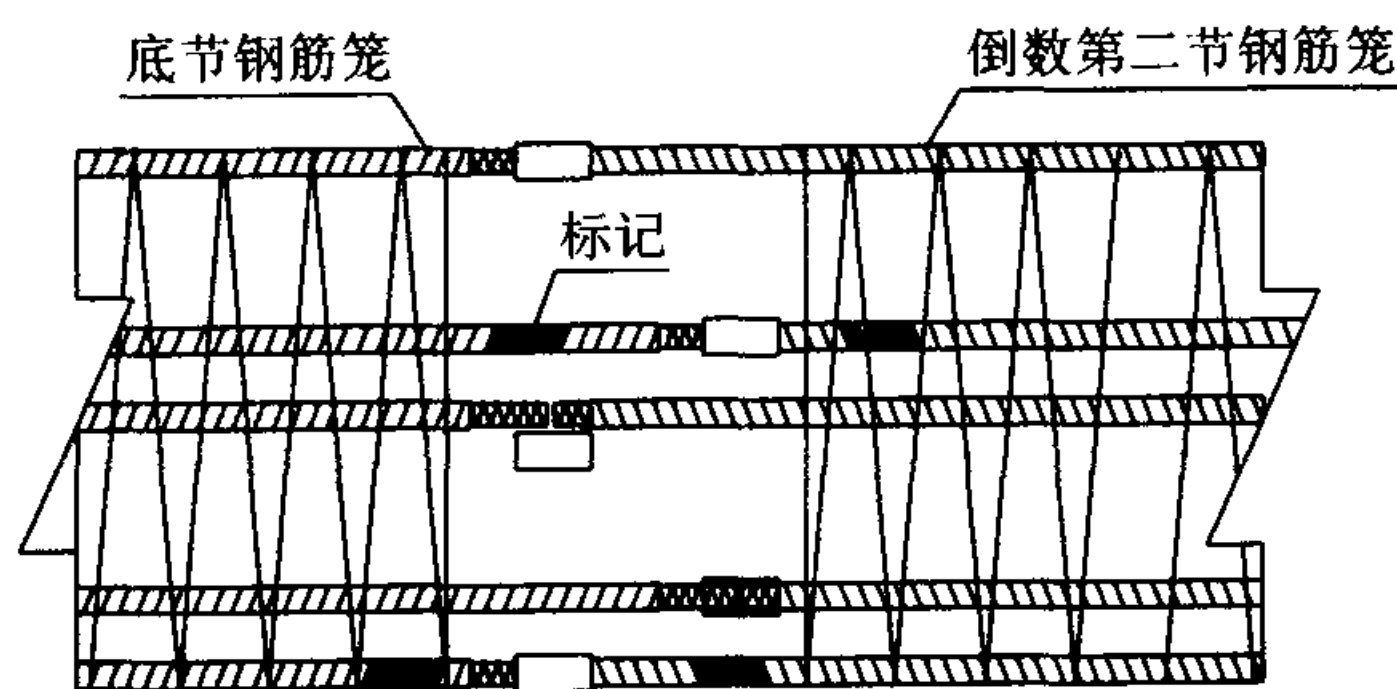
第二步: 1 以底节钢筋笼为模具,
定位倒数第二节钢筋笼主筋

2 逆时针旋转底节钢筋笼套筒,
使之旋入第二节钢筋笼



第三步: 1 绑扎倒数第二节钢筋笼

2 在两节钢筋笼对应钢筋上作标记



第四步: 1 顺时针旋转套筒,
直至套筒全部旋回底节钢筋笼

2 移开底节钢筋笼

3 从第一步开始以倒数第二节钢筋笼
作模具绑扎倒数第三节钢筋笼

这样以此类推完成钢筋笼的制作

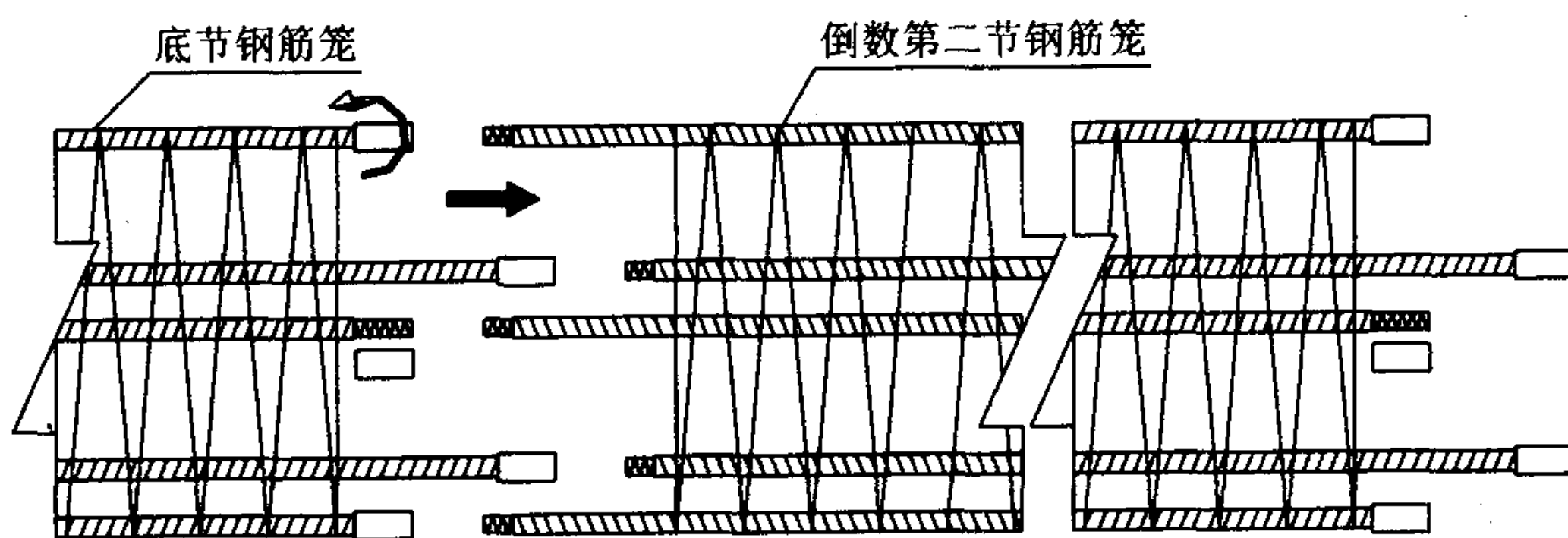


图 4 “靠模法”节段拼装制作钢筋笼

②开孔前未能准确测量出钢护筒的实际倾斜度和倾斜方向;

③当钻头刮护筒时不能准确判断刮护筒的方位,即使判断了方位,也不能提钻重新扫孔钻进,而是在原位置平面移动。

(3)护筒底口变形。

造成钢护筒底口变形的主要原因是:

①钢护筒振沉过程中底口遇异物;

②钢护筒起吊操作不当引起变形;

③钢护筒加工粗糙。

3.1.2 对于钢护筒问题所采取的措施

(1)加强钢护筒加工质量和加工精度的检查;

(2)优化施工组织,确保第一、第二节钢护筒在

平潮时振沉;

(3)钢护筒振沉前对桩位处用电磁铁打捞可能在平台施工时掉入水中的金属物;

(4)钢护筒在从运输船转至平台以及从平台起吊护筒时,必须采用两点或多点起吊,并加强护筒上下口的加强保护措施。

3.2 断桩问题

在成桩过程中,由于以下原因曾发生过两次断桩:

(1)混凝土拌和船故障;

(2)成孔后停置时间过长,在承压水作用下,孔壁失稳塌孔(波及数根桩)后被迫停止混凝土浇注。

对这些桩的处理方法,曾进行过多次讨论,也颇

有争议。最后的处理方法是利用旋喷桩施工原理,钻孔至断桩部位用高压水反复旋转切割,再用微型气举反循环清孔器清孔,最后高压压浆,如图5所示。

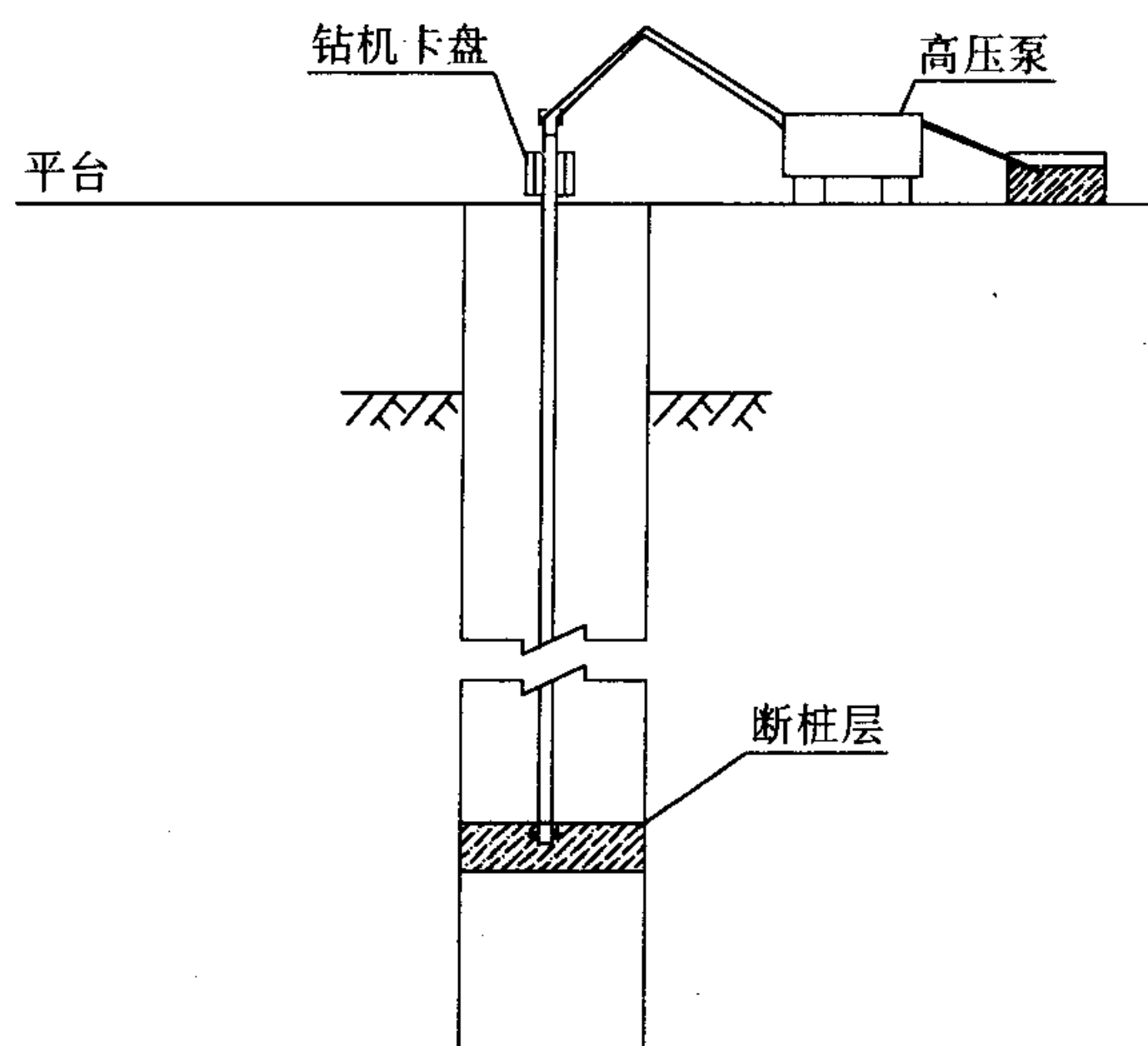


图5 高压旋转射流切割断桩层示意

实践证明,这个办法基本上是可行的,处理后桩基检测结果均可达到B类桩。而该方案的难点是钻孔,在混凝土上钻近百米的孔,垂直度较难控制。

对于波及数根桩范围的塌孔处理方法同样有争议。最后采用的先填砂,再在桩周单管旋喷水泥浆加固,处理结果非常成功。

对上述处理方法争议的原因之一,是因为目前国内普遍采用的“旋喷法”处理地基的深度不超过40m,而上述事故桩的处理深度均超过了这个限度。也就是说,直接利用国内的旋喷机械和旋喷作业队伍至少在目前是不可能解决这个问题的。而我们根据旋喷桩施工原理,直接利用施工现场机械设备(钻机、高压水泵、高压压浆机)解决了这个问题。

在设计、施工时,直接采用“四新”获得成功是技术进步,解决工程实施过程中产生的难题也是一种进步,而在某种意义上讲,是更有意义的技术进步,因为任何一项工程的实施不可能不产生问题,而解决这些问题往往是没有现成经验可借鉴的。

4 海上钻孔灌注桩施工组织管理

4.1 计划管理

海上施工目前还没有合适的、成熟的施工定额。由于气候原因,真正的作业时间,一年中只有半年多一点。因每个月的气候不同,很难做到均衡施工,这就为劳动力计划和机械计划安排带来一定困难。劳动力不足或剩余都可能会发生,机械设备不足或停

机待命时间过长的现象也同样有可能发生。这种情况反过来又会影响进度计划的执行,对成本控制也会产生负面影响。

为了克服因海上不利因素给计划管理带来的难度,我们根据指挥部节点计划,制定了季度、月、周、日计划,达到以日保周,以周保月,以月保季度,以季度保节点计划的管理目标。

4.2 船舶、机械设备管理

海上工程施工,船舶及大型机械设备投入很多,其成本占工程造价的50%左右,这是与内河施工所不同的。因此,海上船机设备的管理是成本管理的重要组成部分。海上钻孔灌注桩施工投入的主要设备除钻机外,还有拌和船、水上浮吊、履带吊、泥浆船、运水船、砂石料运输船、交通船、发电机组以及小型机具设备。

为了加强海上船机设备的管理,我们专门设立了两个部门,由船舶部负责管理自有大型船舶,由船机部负责管理外租船机设备。两个部门根据实际施工需要编制大型设备的需求计划、进退场计划、船机保养、保修计划以及使用调度方案等。

4.3 安全管理及其他管理

在宽阔的海面上,一座钻孔平台就是一座孤岛。要在孤岛上生产生活,需要解决的问题很多,如交通、生活给养及生产资料的运输、通讯、船舶机械使用调度、海上交通安全、防风防台措施等等,无论对人、船舶机械还是工程本身,困难和风险是不言而喻的。

为了克服海上管理工作的难度,我们成立了专门的安全管理领导小组,建立了安全管理网络组织机构,针对钻孔桩施工的全过程,编制了各项安全预案和应急预案,并做了实地演习,取得了良好效果。同时,为了适应海上工程建设的需要,培养一支训练有素的施工作业队伍,成立严密、精干、高效、专业的组织指挥机构是必不可少的组织保证。

5 有待进一步研究的问题

在海上钻孔灌注桩施工中尽管做了不少的工作,但还不完善,需要进一步改进和提高。针对不足之处,我们提出以下几点建议。

(1)加强对海上大规模钻孔平台的动力特性分析,如地震、风荷载反应分析,提高钻孔平台在海上恶劣自然环境中的稳定性,以确保海上施工的顺利进行。

(2)平台要受波流作用,当考虑风暴潮影响时,这种作用十分强大。如何计算和考虑对海上平台的影响,需要进一步研究。

(3)应加强对混凝土的配合比试验、试桩试验、泥浆指标试验的分析,并与现场施工情况进行比较,提高试验结果的可靠性与实用性。

6 结语

海上钻孔灌注桩施工同内河工程相比在技术上具有一定难度,但只要掌握其特点,这些困难都是可

以克服的。我们在海上钻孔灌注桩的施工中,无论是钻孔平台设计施工,还是成孔、成桩工艺上都取得了许多宝贵经验,钻孔桩检测结果 A 类桩达到 92%。

通过精心组织和科学管理,提前半个月完成了桩基施工的计划。

从钻孔工作平台搭设到钻孔灌注桩施工完成,由于安全管理措施得力,三座辅通航孔桥未发生一起人员伤亡事故及船机设备安全事故,并总结了一整套海上施工的安全管理办法,为以后的海上施工提供了宝贵经验。

Construction Technology of Maritime Bored Cast-in-place Piles

YING Hong¹, ZHOU Xian-nian², ZENG Yue²

(1. Road & Bridge Southern China Engineering Co., Ltd., Zhongshan 528403, China;

2. Road & Bridge East China Engineering Co., Ltd., Shanghai 200135, China)

Abstract: Construction schemes and technologies for maritime bridges differ a lot from those for bridges on inland or across inland rivers due to effect of marine climate, tide and waves. This paper aims to enrich building experience for offshore bored piles through studying and summarizing the construction technologies of maritime bored cast-in-place piles of Donghai Sea Crossing Project and Hangzhou Gulf Crossing Project.

Key words: sea area; bored cast-in-plane piles; construction

四渡河特大桥设立无线数字监控系统

日前,一套无线数字监控系统在路桥集团国际建设股份有限公司湖北沪蓉西第十六合同段施工现场正式投入使用,该系统的建成将大桥施工现场纳入全面监控,有力地促进了工程安全和质量的有效管理。

湖北沪蓉西第十六合同段四渡河特大桥是一座主跨 900 m 的悬索桥,位于湖北巴东野三关四渡河峡谷区,周边地形地貌极为复杂,悬崖峭壁,极为陡峭,尚有人迹罕至之处,且多处均为溶岩和溶洞,具有突出典型的高山峡谷悬索桥施工特点。大桥跨越深达 500 多 m 的四渡河大峡谷,恩施岸项目部和宜昌岸工区相距 40 多 km,交通极为不便,给管理带来了一定的难度。同时四渡河特大桥施工难度大,科技含量高,混凝土浇筑方量大,工艺复杂,长期处于高风险状态作业,特别是悬索桥的上部结构施工,这就对安全、质量提出了极为严格的要求。

无线数字监控系统由安装在施工现场的全天候智能摄像机和监控中心组成。摄像机能够对施工现场进行多角度的拍摄、录像,并将现场采集到的信号通过天线传输至监控中心,这样管理人员不用到现场就能够清晰地观测到四渡河大桥的整个施工场景。

除日常的检测护理外,该监控系统通过彩色图像观察、声音交流、遥控指挥现场施工等综合形式,能合理有效地控制施工安全、质量和进度,避免和减少因突发性灾难导致的人员伤亡、财产损失。