



宽阔水域特大桥基础施工监理技术

KUANKUO SHUIYU TEDAQIAO JICHU SHIGONG JIANLI JISHU

张自荣 薛进 编著



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

宽阔水域特大桥基础 施工监理技术

张自荣 薛进 编著

图书在版编目 (C I P) 数据

宽阔水域特大桥基础施工监理技术 / 张自荣, 薛进编
著. —成都: 西南交通大学出版社, 2009.2

ISBN 978 - 7 - 5643 - 0201 - 6

I. 宽… II. ①张…②薛… III. 桥梁工程—工程施工—
监督管理 IV. U445.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 020578 号

宽阔水域特大桥基础施工监理技术

张自荣 薛进 编著

*

责任编辑 张 波

特邀编辑 杨 勇

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028 - 87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蜀通印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 170 mm × 240 mm 印张: 14.375

字数: 257 千字

2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5643 - 0201 - 6

定价: 38.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028 - 87600562

前 言

我国是大江大河、海湾和岛屿非常多的国家，目前我国桥梁工程已经从陆地、江河走向了广阔的海洋。桥梁要跨越大自然的天堑，同时满足通航所需要的桥梁跨度和高度要求，首先必须要有牢固可靠的基础。宽阔水域特大桥梁基础尤其是主墩基础，其施工中质量、安全方面有许多技术难题需要解决，同时它也是控制整个工程进度的关键，其费用也往往占工程造价相当大的比重。桥梁基础除了要能够承担上部结构反力外，在宽阔水域中进行施工，所面对的技术难题还主要来源于水深、地质、潮流波浪和气候环境影响。

为了适应各种自然条件和各类大跨度桥型，宽阔水域特大桥梁基础施工技术一直处在发展和创新之中。20世纪50年代以来，随着越江、跨海湾、跨海峡大桥的兴建，以我国、日本及北欧各国为首大力发展了大型深水基础技术。如在我国，20世纪60年代在南京长江大桥发展了重型沉井、深水钢筋混凝土沉井和钢沉井，70年代在九江长江大桥中创造了双壁钢围堰钻孔桩基础，80年代以后进一步发展了钢套筒高桩承台以及组合形式的复合基础，90年代至今，由于施工设备特别是水上大型起重吊装设备装备水平的提高，大力发展了强涌潮地区水上平台搭设技术和特大型钢套筒承台施工技术。在日本，由于本四联络线等工程的建设，其大型深水基础技术发展很快，以在水中设置沉井和无人沉箱技术最为突出，在北欧如丹麦跨海大桥的建设也采用了类似的技术。近十余年来，桥梁基础工程技术进一步取得巨大的成就，国内外修建了不少跨越宽阔江面、跨越海湾甚至近海的深水主墩基础，获得了不少新经验，大直径钢管桩、大直径超深钻孔群桩基础、复合基础、超大型沉井基础均得到广泛的应用。

作为大型桥梁施工参建单位，应全面掌握宽阔水域桥梁主墩基础的结构形式、施工方法和特点，特别是掌握其关键工序和重要部位的施工技术要点，并熟练掌握结构、试验、测量、安全和环保专业相关技术知识，以便为业主提供优质的技术服务，更好地实施质量、安全、进度和费用控制。

目前国内关于大型桥梁深水基础施工的论文很多，但大多是依据特定地区单一桥梁基础施工经验进行论述或仅仅针对基础结构施工过程进行论述的，而针对宽阔水域特点及各种类型桥梁基础的施工、防腐、试验、测量、监理工作进行全面、系统论述的文章并不多。本书作者依据东海大桥、杭州湾大桥、舟山金塘大桥及上海长江大桥等桥梁基础施工监理经验和国内外已建成水上大型桥梁的施工经验，力求

在上述相关方面有所完善和补充。

本书共分 12 章。前 9 章依据宽阔水域特大桥基础施工特点、结构类型、施工顺序、主要施工工序及工作内容对施工中的技术控制要点进行了论述。后 3 章从监理工作角度对宽阔水域特大桥基础施工质量、安全、环保及文明施工管理等方面的主要工作及相关要求进行了论述。

在本书编写过程中，中铁武汉大桥工程咨询监理有限公司胡昌炳、邓士明、李超、王晨等同志进行了部分校核、修改工作，并提出了不少好的意见和建议，在此对他们表示衷心感谢。书中还引用了国内已有的专著、论文、规范标准、工程课题研究报告等成果，在此对其作者一并表示感谢。

虽然我们尽了很大努力，但桥梁基础施工种类繁多、技术复杂并处于不断创新和发展之中，受制于篇幅及投入的时间和精力，解决所有类型桥梁基础的每一个技术细节问题不是本书的重点，本书侧重于从宽阔水域大型桥梁基础主要施工流程和主要控制内容方面为读者建立起一个全面、系统的概念，以便抓住工作重点和找到开展工作的方法。限于学识水平和经验，本书错漏不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编著者

2009 年 2 月

目 录

第 1 章 宽阔水域桥梁工程概述	1
1.1 宽阔水域桥梁工程的概念	1
1.2 宽阔水域桥梁工程的特点	1
第 2 章 水上施工结构的构建	4
2.1 水上施工平台	4
2.2 插桩平联及护筒支承平台	6
2.3 导管架平台	13
2.4 钢管桩基础	17
第 3 章 浮运预制结构施工	25
3.1 基本概念	25
3.2 特点和作用	25
3.3 主要施工方法和步骤	25
3.4 钢套箱围堰	26
3.5 双壁钢围堰	38
3.6 浮运钢沉井和钢筋混凝土沉井	43
3.7 钢与钢筋混凝土组合沉井	47
3.8 预制大型钢筋混凝土沉箱	61
3.9 水上锚碇系统	64
第 4 章 水下混凝土封底施工	69
4.1 基本概念	69
4.2 封底前的准备工作	69
4.3 封底混凝土浇注	70
4.4 封底混凝土厚度	72
4.5 封底后的处理	73
4.6 吊箱围堰封底混凝土	73
4.7 工程实例	74

第 5 章 大直径钻孔群桩基础施工	75
5.1 基本概念	75
5.2 工程试桩	76
5.3 钻孔平台搭设	79
5.4 钻机的选用及安装	81
5.5 钻孔泥浆的配制和循环	83
5.6 钻进成孔	85
5.7 清 孔	86
5.8 成孔检测	87
5.9 钢筋笼制安	88
5.10 灌注水下混凝土	91
5.11 桩底注浆	93
5.12 成桩检测及竣工检验	95
5.13 桩头处理	95
5.14 钻孔桩常见问题及处理	96
5.15 特殊地质条件下的钻孔桩施工	99
5.16 工程实例	102
第 6 章 特大桥深水基础承台施工	103
6.1 基本概念	103
6.2 主要施工工序	103
6.3 承台施工工艺	104
6.4 承台养护、温度控制、裂纹观测及缺陷修饰处理	108
6.5 工程实例	111
第 7 章 海洋环境中桥梁基础结构防腐	124
7.1 基本概念	124
7.2 钢结构防腐	125
7.3 钢筋混凝土结构防腐	133
7.4 桥梁基础结构耐久性综合措施	138
7.5 工程实例	141
第 8 章 特大桥深水基础试验检测	147
8.1 工作的特点和目标	147
8.2 试验主要工作内容	148

8.3	试验控制的依据和措施	151
8.4	工地试验室	152
8.5	试验管理	155
8.6	桥梁深水基础钢结构检测	156
8.7	基桩检测	159
8.8	混凝土结构试验检测	163
8.9	专项试验检测	165
8.10	主要试验检测仪器设备	166
第 9 章	宽阔水域特大桥基础施工测量	168
9.1	宽阔水域桥梁基础工程测量特点	168
9.2	测量控制的目标和措施	168
9.3	主要测量工作内容	168
9.4	宽阔水域特大桥基础工程测量要求	169
9.5	测量监理控制的两个阶段	169
9.6	测量监理要点	170
9.7	监理主要测量设备	172
第 10 章	宽阔水域特大桥基础施工监理实施	174
10.1	宽阔水域特大桥基础施工监理主要工作内容	174
10.2	水上基础主要分项工程监理工作要点	175
10.3	宽阔水域施工监理关键点及控制措施	186
10.4	对宽阔水域桥梁基础施工的几点建议	190
第 11 章	宽阔水域特大桥基础施工安全管理	193
11.1	宽阔水域桥梁基础施工安全简介	193
11.2	水上施工安全监理的工作方法及措施	197
11.3	监理人员自身安全要求及保障措施	204
11.4	防台防汛预案实例	205
第 12 章	宽阔水域特大桥环境保护和文明施工	211
12.1	桥梁工程环境保护概述	211
12.2	桥梁工程施工环境保护管理	212
12.3	桥梁工程文明施工管理	217
	参考文献	221

第 1 章 宽阔水域桥梁工程概述

摘要：本章介绍了宽阔水域桥梁工程的概念和特点。

1.1 宽阔水域桥梁工程的概念

宽阔水域是指湖泊、江河下游、河流出海口处的喇叭口区、由蜿蜒海岸线构成的海湾、大陆与岛屿以及岛屿与岛屿间的宽广水面。在这些地方造桥，其长度短则数千米，长则数十千米，如东海大桥海域部分桥长约 27 km，杭州湾大桥海域部分桥长约 31.5 km，舟山连岛工程海域部分桥长约 18 km，选择宽阔水域桥位主要是为了达到以下目的：

- (1) 克服宽阔水域造成的阻碍，变航运交通为高速公路交通。
- (2) 使两个以上经济区之间的陆路交通避免长距离绕行，联系更加紧密。
- (3) 加快岛屿等交通条件较差地区的经济发展，扩展沿海城市发展空间。
- (4) 联络大型深水港码头等特殊用途。

在我国，已建桥梁的宽阔水域有：长江中下游、杭州湾、青岛海湾、舟山连岛等。计划修建和将来可能修建桥梁工程的宽阔水域有：粤港澳通道、舟山连岛二期、绍嘉杭州湾二通道、琼州海峡跨海通道、渤海湾跨海通道、福建沿海岛屿、台湾海峡等水域。

1.2 宽阔水域桥梁工程的特点

宽阔水域桥梁工程规模浩大、技术复杂，桥位处水面宽广，风大浪急，并且是台风暴潮、强对流多发地区，气象、水文、地质条件往往十分复杂。工程往往具有以下特点：

(1) 桥址区流速急、潮差大。

桥址区水流情况和潮汐类型因地理位置不同而不尽相同,但河流下游、入海口及海区流速高、潮差大。如东海大桥最大潮差 5.14 m,最大流速超过 3 m/s。涨落潮时水的流速大且流向紊乱,会给桥梁施工造成很大困难。在潮汐水域施工,由于潮差变化大,基础和承台一般处于潮位变动区,需抢潮作业,工程有一定风险。

(2) 工程地质条件差。

河流下游、入海口及浅海区软弱覆盖层一般较深厚,而近岛段则有高低不平呈鸡爪形的坚硬岩石且覆盖层很浅。此外,有可能受到浅层沼气、承压水等不良地质条件影响。因此工程地质条件差,基础施工技术难度高。

(3) 施工安全难度大。

宽阔的水域,风、浪、潮、涌等均给桥梁施工造成风险,特别是对水上临时性结构施工、各种施工船舶航行及靠泊、人员上下交通带来较大的困难和风险。海上、空中及机、电施工交织,安全隐患多,管理难度大。此外,处于软弱覆盖层的桥位,一般表层为淤泥和砂质粉土,极易冲刷,施工抛锚、打桩船就位作业会引起局部冲刷加剧,极易发生走锚和偏位溜桩等险情。

(4) 施工场地布局紧趋、交通条件差。

水上施工主要利用船舶和作业平台进行,特别是主墩基础施工场地往往十分狭小,材料、机械设备、工作生活设施布局紧凑。材料供应、人员生活和交通全部依靠船舶。水上施工用电一般依靠自发电,施工机械设备用燃料甚至施工用水也必须用运输船舶运至墩位。

(5) 工期受气候影响因素大。

水上施工因受风、浪、雨、雾等因素影响,全年有效作业天数较短,如东海大桥全年水上有效工作日仅 180 d。由此可能造成工期紧张。

(6) 结构的耐久性要求高。

对于处于河流下游往复流区及海区的桥梁,由于常年气温较高、空气湿度大、台风及季风强烈、海水含盐度高,海洋大气的腐蚀环境、涨落潮的干湿侵蚀效应等均对桥梁的正常使用寿命有极大的影响。

(7) 环境保护要求高。

国家环境保护法律法规越来越完善和严格,对宽阔水域鱼类等水生资源和水质保护是施工承包商不可推卸的责任。因此,如何确保施工水域生态环境不受污染和破坏是施工全过程必须面临的重要课题。

(8) 施工组织管理经验不多。

宽阔水域桥梁施工可供借鉴的成熟经验少，技术难度大。施工组织管理要求采用全新的理念，并应辅以大量的科研、试验工作。

监理工作应总结已建成宽阔水域桥梁工程特点和施工管理经验，按照监理合同、设计文件和设计施工规范要求，参考国外工程相关实例，结合国内相应的施工、科研、试验研究成果，对承包商提出的施工方案进行认真细致的审查，提出高质量的审查意见和建议，同时针对宽阔水域工程施工特点，加强现场施工管理和组织协调，为业主提供优质服务。

第2章 水上施工结构的构建

摘要：本章介绍了水上施工平台的特点、结构形式和施工方法。

2.1 水上施工平台

2.1.1 宽阔水域施工平台的特点

水上施工平台是指为了进行桥梁基础水上施工而搭设的作业场地。固定式水上工作平台是一种常见的结构形式，而宽阔水域施工平台具有其特殊性：

（1）平台要受流波力作用，当考虑风暴潮影响时，这种作用十分强大。

（2）在潮差较大的地区，因为要考虑平台作业面避免波浪影响，以及为了钻孔和水下混凝土封底施工等需要，内部应保持足够的水头，平台顶面高程比一般平台要高。

（3）因为远离陆地，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很多，结构受力也较复杂。

（4）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方法，还是采用其他施工方法，须在自然条件、技术和成本方面进行比较。

（5）平台设计应调查和掌握水文、水力环境，这是关系到技术、安全和成本的重要问题。

（6）在无遮蔽海洋恶劣的自然条件下，采用江河中常用的支架或船舶施工方法有时无法进行，必须建造与自然条件相适应的、稳固可靠的海上施工平台。

2.1.2 平台结构形式

根据水深、地质情况、波浪力的大小及承包商设备条件，目前形成水上施

工平台的方法主要有4种,即:插桩平联法、护筒支承法、导管架围堰法、浮运预制结构法。

2.1.3 平台适用范围

1. 插桩平联法

适用于水深小于20 m,河床覆盖层较深,土层较松软,流速一般不大于3 m/s的地方。采用插打钢管桩的方法形成平台基础,即先打桩,再焊接桩间平、立面支撑结构,形成空间桁管结构,再安装上层平台分配梁形成作业平台。这种施工方法受风、浪、流速的影响非常之大,支撑焊接工作异常困难,不仅质量难以保证,而且工期长、风险大,而支撑的焊接工作只能在风浪面以上进行,其相应平面刚度较差,要满足施工荷载及波浪力作用,必须加大结构、延长工期、增加投资。

2. 护筒支承法

钢护筒是钻孔桩成孔所用的临时结构,也可以作为平台基础结构的一部分,来承担外力。护筒支承法适用条件与插桩平联法基本相同,但水深可深一些,覆盖层可略浅一些。

在许多情况下护筒支承法与插桩平联法共同形成平台,外围为钢桩、内部为钢护筒,以增加平台竖向和水平抗力。有时还需要布置一定数量的斜桩来承担水流、波浪、风及船只意外撞击产生的水平力。

3. 导管架围堰法

适用于水深20 m以上,覆盖层很浅或基本无覆盖层,流速快、波浪力大的地方。简易的方法是将平台的平、立面支撑预先焊成空间桁管结构,在墩位处先打上若干定位支承桩,将桁管架运至墩位吊装至定位桩上焊接固定成临时平台,再插打其余平台支承桩,焊接成空间平台结构,这种方法同样只能在波浪面以上作业,而且刚度较差、定位精度差,造成桁管架安装也相当困难。因此,借鉴海上石油钻井平台的建造经验,结合施工具体要求,开创性地设计了导管架与浮箱结构(吊箱围堰)相结合的施工方案,即先在工厂用钢管焊接成整体式空间桁管结构,将桁管架运至墩位吊装就位,直接沉放到海底初步定位,再在竖向钢管中插入定位桩,并施打入海底足够的深度,形成桥墩承台一端的

施工平台, 再在桥墩承台的另一端同样用桁管架组成施工平台, 而后将双壁钢套箱浮运至墩位, 用海缆绞锚牵引至已施工完成的平台间临时固定, 最后在套箱中插打钻孔桩钢护筒至设计高程, 形成导管架浮箱施工平台。本方法施工时间短, 平台面积大, 生产与生活区为一体, 结构刚度大, 抗风浪、抗潮流、抗撞击能力强, 结构安全性高。

4. 浮运预制结构法

适用于水深 20 m 以上的地方, 对河床覆盖层厚度要求不高, 能够抵抗较大的波浪力, 目前国内已经做到了水深 64 m 以上。浮运预制结构既可以是钢结构, 也可以是钢筋混凝土结构, 甚至可以是其他新材料结构。浮运预制结构是国外在跨海峡桥梁施工中喜欢采用的方式之一。因该方法涉及结构种类较多, 因此在本书第 3 章专门阐述。

2.1.4 平台结构荷载及设计

平台结构荷载包括以下各项。

- (1) 平台结构自重: 包括基础支承结构、联结系、分配系和面板等。
- (2) 施工荷载: 包括平台上施工机械、材料、人员等荷重, 吊装设备应考虑冲击系数。
- (3) 波浪力: 通常按 20 年 (或 30 年) 一遇洪水 (或风暴潮) 高水位时的波浪力, 参照《海港工程水文规范》(JTJ 213—98) 计算。
- (4) 水流力: 通常按 5% 频率垂线平均流速, 参照《港口工程荷载规范》(JTJ 215—98) 计算。
- (5) 风载: 按平台设计最大风速进行计算。

对上述荷载进行组合计算。目前常应用空间有限元分析计算软件建立模型, 进行空间分析计算。计算模型须考虑平台基础冲刷影响, 冲刷深度依据水文条件, 通过水工模型试验、经验公式进行分析确定。

2.2 插桩平联及护筒支承平台

插桩平联法、护筒支承法以及两者相结合的方法是目前国内用得最多的平

台搭建方法，适用于河流下游、海湾及浅海区桥梁。图 2.2-1 所示为钢管桩与钢护筒相结合的水上平台。

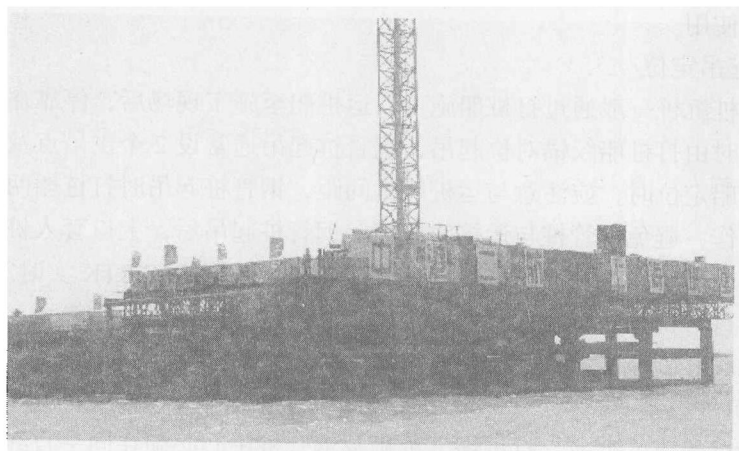


图 2.2-1 钢管桩与钢护筒相结合的水上平台

2.2.1 施工方法

1. 钢管桩、钢护筒的插打

水上插打钢管桩、钢护筒需要起重船、运桩船、打桩船或打桩机的配合，通常从一侧的起始平台钢桩开始插打，后插打钢护筒（见图 2.2-2）。

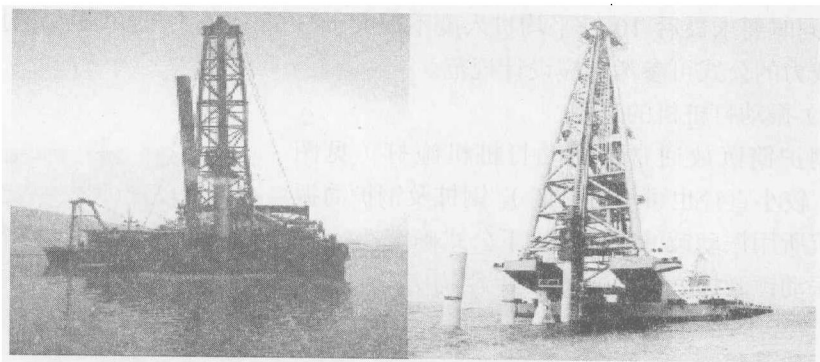


图 2.2-2 打桩船水上插打钢桩

1) 进场检验

钢管桩和钢护筒一般为委外工厂制造，也有工地自行制造，由运桩船运至施工现场。钢管桩的桩径根据受力需要确定，搭设平台所用的钢管桩桩径一般

为 80~120 cm。使用前除对供货单、出厂合格证、编号批号进行查对外,还必须对钢桩焊缝外观、桩长、桩径、椭圆度、涂装质量等方面进行检查,验收合格后才能使用。

2) 起吊定位

钢管桩沉桩一般通过打桩船施工。运桩船至施工现场后,停靠在打桩船一侧,施工时由打桩船绞锚对位起吊,钢管桩起吊通常设 2 个主吊点及 1 个辅吊点。打桩船定位时,应注意与运桩船的间距,钢管桩起吊时打桩船两台卷扬机应协调动作,避免钢管桩与运桩船碰撞。钢管桩起吊后,上口套入桩帽内,下端由下导向固定。利用船载 GPS 定位测量系统,采用 GPS RTK 实时定位技术,调整船位进行钢桩初步定位和精确定位,平台钢桩定位精度一般为:平面偏差控制在 30 cm 以内,垂直度控制在 1%。

3) 沉桩控制

钢管桩静压下沉前,打桩锤、桩帽及钢管桩中心必须在同一直线上,以避免偏心影响。对位完成后,慢速松开卷扬机使桩在自重作用下插入土中。在此过程中,应及时观察钢管桩偏位以便及时调整桩位。待自重下沉完成后,应精确观测钢管桩偏位,若超出规范要求,应起吊钢管桩重新对位。落锤压桩自重下沉完成后,拆除上吊点钢丝绳。落锤锤击下沉,开始时应遵循“重锤轻击”的原则,待桩入土到一定深度后,正常供油进入正常锤击使桩下沉。沉桩过程中,应做好沉桩记录,锤击宜一次连续打完,中途不宜停留过长,以免打入困难。钢管桩停锤按高程及贯入度双向控制,以桩顶高程控制为主(确保入土深度),同时要求最后 10 锤平均贯入度不得大于 3 mm。根据已知贯入度求桩容许承载力的公式可参考相应设计规范。

4) 振动打桩机的选用

钢护筒沉放通常由振动打桩机施打(见图 2.2-3,较小直径也可用打桩船)。钢桩及钢护筒振动下沉所用振动锤的选择由以下公式确定:

振动锤激振力 $F_V > \text{土的动摩阻力 } F_R$

$$F_R = \sum fUL_i \quad (2.2-1)$$

式中 f ——各层土体单位面积动摩阻力 (kN/m^2);

U ——钢护筒周长 (m);

L_i ——入土各土层层厚 (m)。

以上海长江大桥主通航孔为例,每根钢护筒

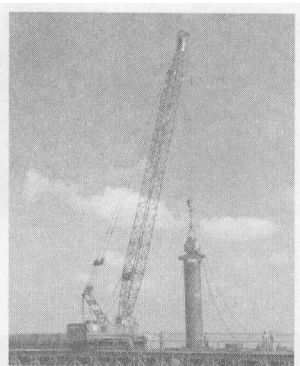


图 2.2-3 振动打桩机插打钢护筒

长 55 m, 护筒外径为 3.186 m, 护筒底高程为 -48.0, 河床泥面高程为 -13.2, 护筒入土深度达 34.8 m。根据地质资料, 土层共分 6 层, 上两层动摩阻力 f 取值为 15 kN/m^2 , 下三层取值为 20 kN/m^2 , 最下层取值为 25 kN/m^2 , 计算得出总的摩阻力 F_R 合计为 6 357 kN。因此, 选用 2 台美国 ICE V360 型液压振动锤并联使用, 单锤最大激振力为 3 203 kN, 合计激振力 $F_V = 6 406 \text{ kN} > F_R$ 。

5) 导向定位架

钢护筒由起重船起吊进入导向架龙口沉放位置, 采用双层悬臂钢结构导向定位架控制护筒插打精度, 定位架层高一般为 5~10 m。如上海长江大桥主通航孔, 其移动悬挑式定位导向架为钢桁架结构, 长 17.65 m, 宽 6 m, 用起重船吊装移位, 并锚固在已完成的起始平台或已沉放的钢护筒顶口上, 导向架前端设置 2 层层距 10 m 的上、下导向装置, 导向装置内设置有供钢护筒定位、沉放过程中纠偏及调整的液压千斤顶和锁定装置。钢桩起始平台及钢护筒导向架见图 2.2-4。



图 2.2-4 钢桩起始平台和钢护筒导向架

6) 钢护筒规格要求

钢护筒直径要求比钻孔桩设计直径大 20~40 cm, 2 m 直径以上的钢护筒壁厚一般为 16~25 mm。

7) 钢护筒沉放精度

钢护筒定位精度要求要高于钢桩, 测量定位采用 GPS 静态定位方式, 一般为: 平面偏差控制在 5 cm 以内, 垂直度控制在 1/300。

8) 护筒沉放问题的处理

在插打沉放施工中经常出现的问题主要有: 护筒底口卷曲变形, 对此通常在护筒底口外贴一层钢板予以加强; 沉放高程不到位, 对此通常采取更换设备以增加振动打桩机激振力和内部吸泥射水辅助下沉措施, 或征得设计同意减少钢护筒沉放深度。